



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES DE IZTACALA.

CARRERA DE BIOLOGIA.

**“DETECCION DE BIOACUMULACION DE METALES PESADOS EN LAS
ZONAS MUSCULARES Y OSEAS EN LOS CHARALES (*Chirostoma jordani*),
MEXCALPIQUES (*Girardinichtys viviparus*) Y PEZ TIRO (*Goodea atripinnis*)
DEL LAGO DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MEXICO.”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE BIOLOGA

PRESENTA
CHIU TORIJA DIANA LAURA

DIRECTOR DE TESIS
DRA. GABRIELA SANCHEZ FABILA

Los Reyes Iztacala, Estado de México, Septiembre de 2019





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

¿Hemos vencido a un enemigo- A ninguno, excepto a nosotros mismos. ¿Hemos ganado un reino- No, y no obstante sí. Hemos logrado una satisfacción completa, hemos materializado. Luchar y comprender, nunca el uno sin el otro, esta es la ley.

George Mallory.



El camino hacia la cima es, como la marcha hacia uno mismo, una ruta en
solitario.

Alessandro Gogna



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

No tienes nada que hacer con la altura, es tu fuerza lo que cuenta.

Lynn Hill (Sobre su ascensión a The Nose, Yosemite)



Agradecimientos.

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta, querido padre, tu sabes todos los obstáculos que la vida me ha puesto para llegar hasta aquí, pero siempre has estado para mí, has alumbrado mi vida en los momentos más difíciles y me has enseñado tanta cosas a lo largo de este caminar, te agradezco por todas las personas que pusiste en mi camino a lo largo de todo este tiempo, gracias por regalarme cada día un nuevo amanecer y por poner en mi camino esta maravillosa profesión, te ama por siempre, la niña de tus ojos.

A mi casa predilecta, la UNAM, gracias por cobijarme y brindarme todo, gracias por permitirme formar parte de ti, gracias por pintar de azul y dorado mi camino, gracias por darme las armas para salir al mundo y decir con orgullo que soy un puma, gracias por dejar que por mi raza hable el espíritu.

A mi Casa blanca, mi querida Iztacala, gracias por abrirme las puertas de este maravilloso mundo, gracias por regalarme maravillosas experiencias, por darme todas las armas para salir al mundo y decir con mucho orgullo que soy un Puma Iztacalteca, gracias por darme la oportunidad de crecer y formarme profesionalmente en tu seno, gracias por todo lo que cada día maravilloso pase en tu espacio, no terminare de agradecerte lo mucho que me sigues regalando, simplemente gracias por todo.

Al proyecto de Limnología tropical, dirigido dignamente por el Dr Javier Alcocer Durand, gracias por darme esta maravillosa oportunidad y por confiar en nuestro trabajo, gracias por toda la experiencia adquirida a lo largo de este proyecto, gracias por su enseñanza , por su respaldo siempre y gracias por cobijarme de ahora en adelante.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

A mis abuelos Elaine y Romeo † Gracias por amarme tanto, gracias por ser mi inspiración siempre para llegar a donde estoy, gracias porque sin su amor, su fuerza y su ayuda el camino hubiera sido más difícil, gracias por darme una familia maravillosa y protegerme sobre todo y contra todos; gracias por ser parte de esto, Abuela tu y yo sabemos que mi día está celebrando con nosotros desde donde este, gracias por todo lo maravilloso que me dan, este logro también es suyo, los amo mucho.

A mi querida hermana Inés del Rosario † pequeña sabes que te amare siempre, gracias por dame fuerza para seguir en los momentos difíciles, gracias por cuidarme como buena hermana, gracias porque aunque no estás conmigo, tu también eres parte vital de mí, te amo hermana.

A mi madre, Oraine, sé que hemos pasado momentos muy difíciles, porque así es la vida que nos tocó vivir, pero siempre después de la tempestad viene la calma, hoy estamos terminando una larga historia mami, hoy te entrego aquello que tanto anhelas para mí, aquello que hace 5 años me deseaste en aquella carta donde me entregabas un pedazo de tu corazón, hoy te quiero regresar un poquito de todo lo que tú me has dado, este logro es tuyo ma, este título es tuyo, no tengo palabras para agradecerte mamá por todo, porque hoy soy lo que soy por ti, gracias por darme todo por mí desde siempre, gracias por estar para mí siempre, gracias por darme fuerzas cuando ya no sé de dónde sacarlas, gracias por no dejarme tirar la toalla aunque el camino sea difícil, gracias por ser mi todo y mi razón de vida ma, gracias por enseñarme que los sueños son lo que alimentan el alma y gracias por enseñarme a luchar por ellos, gracias por convertirme en la mujer que soy hoy, porque un día me lo dijiste ma : “ un día serás grande”. Y ma, espero que te sientas orgullosa de mí, porque yo me siento muy orgullosa y afortunada de tenerte como mamá, te amo mucho mami.

A la familia Chiu Rojas: Royman, Adriana, Royman Antonio, Luis Enrique y Adriana María, gracias por todo su amor y su cariño, gracias por apoyarme,



gracias por celebrar mis logros, a mis padrinos Royman y Adriana, gracias por considerarme una hija, gracias por cuidarme y brindarme su apoyo, a mis primos, gracias por su cariño, sé que nuestro abuelo desde el cielo celebra con nosotros.

A la familia Nigenda Solórzano, gracias por todo su cariño y su apoyo siempre, los quiero mucho.

A la familia Hernández Masa, gracias por apoyarme siempre, por su cariño y por su amor.

A mis Padrinos Manuel † y Jandy, querido padrino lo logre, sé que desde donde estés celebras conmigo este logro, gracias porque a pesar de que la vida me permitió compartir poco tiempo contigo me enseñaste que siempre debo perseguir lo que quiero en contra del mundo, siempre y cuando me haga feliz, te admire siempre, mi cariño siempre para ustedes.

A mi querido Uby †, siempre siempre te recuerdo, fuiste un ser maravilloso al que le estoy eternamente agradecida por todo lo que me brindaste en vida y por todo lo que me dejaste brindarte, no tengo como pagarte todo tu cariño y tu apoyo, gracias Uby, te amo.

A la familia Torija Nuño: Mario, Ofelia, Diego, Milton ,Picotto y Bongo: saben que los amo con todo mi corazón, gracias por abrirme las puertas de su casa y por darme su cariño sincero y su apoyo, los amo.

A Martin y a la familia Salvio García, ustedes se encargaron de hacerme sentir querida, los quiero mucho, gracias por todo su apoyo y su cariño siempre.

A la familia Torija Guerrero, gracias por brindarme su apoyo y su cariño.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Querida Ana Karen, sabes que te amo mucho, que eres como una hermana para mí, te admiro, gracias por compartir conmigo todo este tiempo, gracias por apoyarme siempre, te amo Güera.

A la familia Padrón Alemán: Sra Nelly, Sr Odilón, Fer y Hass gracias por abrirme las puertas de su casa y por todo su cariño siempre, no tengo con que pagarles todo lo que hacen por mi, los quiero mucho, gracias por hacerme sentir en familia y en casa, los quiero mucho, mi cariño siempre.

A mis padres académicos Roberto y Gabriela, la vida me dio unos padres maravillosos, le doy gracias a la vida porque llegaron a mi vida en el momento indicado, porque me ha permitido aprender tanto y vivir cosas maravillosas a su lado, no tengo con que pagarles todo lo que hacen por mi cada día, no tengo como agradecerles todo todo lo que me han dado, pero les agradezco de todo corazón y con todo mi cariño que me han permitido aprender tanto de ustedes, gracias porque a pesar de que mi familia biológica está lejos, ustedes se han encargado de darme una familia y de sentirme querida y protegida, los amo papis.

A mi Amado LAVEC, me cobijaste de una manera impresionante, me diste todo sin dudar, te convertiste en mi segundo hogar, gracias por todo lo que me brindaste a lo largo de estos años, por darme una familia, gracias por mi Familia LAVEQUIANA.

A mi familia LAVEC: Roberto y Gaby, Alma, Nadia, Consuelo, Pamela, Andy, Fernando, Sari, Diana mi sista, mi Zarigueya, Eliza y; por supuesto a los Anexos: Laura, David, Majo y Jesús y a la nueva generación 2020-1 (Alan y Leonor) se convirtieron en mi familia a lo largo de todo este tiempo, gracias por apoyarme siempre y por darme todo su cariño, porque Dios nos hizo y LAVEC nos juntó, gracias hermanos porque no se qué hubiera sido de mi vida sin ustedes, porque se convirtieron en más que compañeros de clase, gracias por dejarme siempre estar para ustedes y por estar para mí; aunque la vida nos separe en los próximos



años quiero que sepan que los amo y que estaré siempre para ustedes, celebro sus logros hermanos, primero se titulan y después hacen lo que quieran, los ama su hermana.

Fer, querido amigo, sabes que me siento muy feliz de que llegaras a mi vida, sabes que no tengo como pagarte todo lo que haces por mi cada dia, gracias por estar conmigo en este proceso, por celebrar conmigo hermano, la vida no me dio hermanos biológicos pero los hermanos académicos que me brindo son lo más hermoso que pudo darme, gracias porque has estado en momentos sumamente difíciles para mí, te quiero pequeño.

Mi querida Sari, sabes que en este tiempo eh aprendido a quererte tanto, eres una pequeña hermana para mí, has estado conmigo en los momentos difíciles, has visto mi llanto y mi risa y me has dejado formar parte de tu vida y tu formas parte de la mía, agradezco inmensamente a la vida por ponerte en mi camino, sabes que te quiero muchísimo, gracias por todo tu amor y cariño y recuerda cariño, no deshonres a tu vaca, te amo.

David, querido Snow, sabes que te admiro mucho, te agradezco por regalarme tu amistad y cariño a lo largo de estos años, gracias por tantas vivencias, gracias por tanto aprendizaje, te quiero mucho David.

Mi querido Ivan Muro, amigo sabes que en estos años hemos pasado tantas cosas, que no tengo como agradecer todo tu cariño y tu apoyo siempre, fuiste la primera persona que me brindo su amistad sincera y su cariño, te agradezco por compartir conmigo esto, te quiero mucho.

A los profesores que marcaron mi vida académica:

Humberto, profesor nunca me canso de aprender de usted, gracias por ser una gran inspiración para mí, por enseñarme y permitirme aprender de usted, gracias



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

por apoyarme siempre, gracias por enseñarme que somos humanos en este caminar.

Chayito, querida profesora no tengo palabras para agradecerle que llegara a mi vida, gracias por todo su apoyo siempre y por seguirme enseñando cada día, por guiarme y por compartir nuestro amor por los fósiles.

Maestra Leonor, gracias por hacer que le tomara amor a las plantas, gracias por compartir conmigo esa pasión por la escalada, gracias por su tiempo y su sabiduría.

Irma, querida madre, fuiste mi primera pateadora oficial como tu prefieres llamarle, gracias por todo tu apoyo siempre, te quiere la niña Laura.

Virginia, profesora, aún recuerdo sus palabras de aliento, marcaron mi vida, no tengo con que pagarle todo lo que me ha apoyado siempre, gracias por estar conmigo en los momentos difíciles y hacerme sentir querida e importante, gracias.

Dr Cesar Mateo Flores, estimado Dr., agradezco mucho su apoyo, sin duda alguna es un gran ejemplo para mí, mi admiración y mi cariño siempre para usted Dr.

Dr Andrés Aragón, le agradezco muchísimo sus enseñanzas y todo su apoyo, le admiro mucho Dr, gracias por su motivación para seguir creciendo y por creer en mí, espero un día poder llamarlo colega y porque no colaborar en algún trabajo.

Dr Cesar Durand, no tengo como agradecerle todo su apoyo, sus consejos y que comparta su conocimiento conmigo, jamás voy a olvidar ese maravilloso regalo y sus palabras porque marcaron mi vida como bióloga: "Toma, tengo un regalo para ti, sé que un día terminarás la carrera y lo visitarás muy pronto". Y si Doc. hoy estoy a punto de terminar esta maravillosa carrera para salir al mundo y visitar ese maravilloso lugar, gracias por todo Doc., mi cariño siempre.



Querida Daleth no tengo como pagarte todo tu apoyo a lo largo de este tiempo, gracias por todo lo que me has ayudado, eres una gran mujer y una gran bióloga, amiga y profesora, te estaré eternamente agradecida por todo tu cariño y apoyo.

Queridos Osvaldo y Sandy, los quiero mucho y estoy muy agradecida por todo su apoyo a lo largo de este tiempo.

Francisco, no encuentro palabras para agradecerte todo tu apoyo y tu cariño, sabes que te convertiste en un gran amigo, te admiro mucho, gracias por ser parte de esto.

Querida maestra Paty Serna, Uriel y Aura, mi vida dio un giro maravilloso cuando los conocí, gracias por todo su apoyo en esto, porque ustedes son parte de esto también, son culpables de que llegara al lugar indicado, gracias por cobijarme y brindarme todo su apoyo y su cariño, gracias por abrimme las puertas de su casa y por apoyarme en seguir mi sueño, gracias por todo lo que me enseñaron y por todo lo que me siguen brindando, los quiero mucho, son mi familia.

Dr. Gustavo Yáñez, querido Dr, ¡lo logramos! Usted es uno de los responsables de que hoy este aquí y por ello su nombre está plasmado aquí, querido Dr, no tengo como agradecerle todo su apoyo, sus enseñanzas y su cariño, gracias por sus palabras aquel día : “ Pensé que tu decisión era visceral, Laurita, pero veo que no, entonces vete, busca lo que quieres, que así no me sirves aquí”, “sabes una cosa eres un diamante en bruto” eso marco mi vida Doc., y me motivo a tomar mis maletas y seguir mi sueño, hoy a cinco años después puedo decirle que fue la mejor decisión que pude haber tomado, gracias por estar conmigo a lo largo de estos años, gracias por siempre motivarme a pulir ese diamante, gracias por compartir este logro conmigo del que usted es parte, mi cariño siempre Doc.



A mi cordada:

Tony, maquina, sabes que te quiero mucho, te agradezco tu tiempo y tu cariño hoy y siempre, gracias por estar para mí en los momentos difíciles y asegurarme para perderle el miedo al vuelo, gracias por ayudarme siempre a encadenar, te quiero.

Yuno y Hass queridos primos saben que los amo con todo mi corazón, gracias por estar conmigo en los momentos difíciles y por brindarme su apoyo incondicional, agradezco a la vida porque están en mi vida, los amo mucho gracias por hacerme sentir en familia.

Alex, maquinota, sabes que te quiero mucho amigo, gracias por dejarme aprender de ti, por motivarme en las rutas duras, gracias por estar, mi cariño sincero siempre mutante.

Gerardo y Lupis, saben que los quiero mucho, gracias por estar, gracias por apoyarme, gracias por motivarme siempre a sacar la ruta, los quiero mucho.

Alan, querido pececito, no tengo palabras para expresarte lo mucho que te quiero, la vida es sabia, nos ha puesto en esta ruta, gracias por compartir y celebrar conmigo este pasito, gracias por llegar a mi vida, gracias por permitirme compartir contigo tantas cosas, gracias por estar siempre Güerito, gracias por también ser parte de esto, sigamos nadando en este océano llamado vida. Te amo.

Ivett, querida colega, gracias por permitirme aprender tanto de ti, gracias por enseñarme que siempre debemos creer en uno aunque el mundo diga lo contrario, gracias por permitirme ser tu cordada en ese gran reto para nosotras, te quiero mucho, siempre te recuerdo.

Abraham, gracias por compartir conmigo un poquito de la ruta, la vida es sabia con sus decisiones.



Mi querido Jacky, gracias por todo tu cariño y dejarme compartir contigo mis locuras, gracias por motivarme siempre, gracias por creer en mí, te quiero mucho, gracias por estar siempre, no olvido que tenemos proyectos pendientes máquina, te quiero siempre.

Esme, gracias por todo tu apoyo y cariño, gracias a la vida porque te puso en mi camino en el momento preciso.

Max, amigo, en este corto tiempo te he tomado mucho cariño, te agradezco por todo tu apoyo y comprensión, gracias por estar siempre, gracias por compartir conmigo esto, gracias por ayudarme en los encadenes y por enseñarme que a veces hay que volar para crecer.

Oscar, Ross, Jorch, Erendira, Julio, Vianney y Rosby, gracias por todo su apoyo y su cariño, en este tiempo se han vuelto personas importantes y queridas para mí, gracias por compartir conmigo un poquito de este proceso, llamado "cruce", los quiero máquinas, son unos atascados, los quiero.

Javier, tu más que nadie sabe cuan feliz me siento de poder compartir este pasito contigo, gracias por estar conmigo a lo largo de todo este tiempo, gracias porque pesar de todo, sé que compartes mi felicidad, gracias porque tú has sido parte del proceso, gracias porque a pesar de todo, estas. **Ich werde dich immer lieben.**

Tengo tantas personas a quien agradecer, no me alcanzara el tiempo ni la vida ni la tesis tampoco para agradecerles y pagarles todo lo que hacen por mí, solo quiero que sepan que doy gracias a la vida y a Dios porque están conmigo, me han visto crecer, han visto mis caídas y han estado ahí para ayudarme siempre, la vida es complicada para algunos, pero es más llevadera si tienes a tus amigos y a tu familia contigo, gracias por compartir este paso tan importante para mí, gracias por todo, los quiero.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Este trabajo está dedicado a mis abuelos Elaine y Romeo † y a mi madre Oraine quienes han sido y serán mi razón de vida, quienes me han dado todo su cariño y su amor desde siempre, gracias porque sin su apoyo esto no hubiera sido posible, gracias por creer en mí, los amo.



INDICE

INTRODUCCION.	21
BIOLOGIA DE LOS ORGANISMOS	24
CLASIFICACION TAXONOMICA DEL CHARAL	26
TAXONOMIA DEL MEXCALPIQUE.	27
TAXONOMIA DEL PEZ TIRO	28
ANTECEDENTES	29
BIOLOGÍA DE LOS ORGANISMOS	29
✓ Charales (<i>C.jordani</i>)	29
✓ Mexcalpique (<i>G. viviparus</i>)	30
Presencia de metales pesados en peces.	31
✓ Metales pesados en musculo y órganos	31
JUSTIFICACIÓN	37
OBJETIVOS.	38
METODOLOGÍA	39
RESULTADOS.	41
• Espectrofotometría	46
• Descripción.	57
Cráneo	58
Columna vertebral	71
Costillas	82
Aletas.	86
Aleta dorsal	87
Aleta Pectoral	91
Aletas Pélvicas	95
Aleta caudal	97
Escamas	104
Comparación Anatómica entre Charales (<i>C.jordani</i>), Mexcapilques (<i>G.viviparus</i>) y Pez tiro (<i>Goodea atripinnis</i>)	107
Cráneo	108
Columna vertebral	114
Costillas	118
Aleta dorsal	119
Aleta pectoral	121



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Aletas pélvicas	122
Aletas caudales	124
Escamas	126
DISCUSION	128
CONCLUSIONES	139
SUGERENCIAS	140
LITERATURA CITADA	142
ANEXOS	150
ANEXO I. MEDIDAS MORFOMETRICAS.	151
ANEXO II. ESPECTROFOTOMETRÍA EN MUSCULO Y HUESO A C.jordani Y G.atrippinis	153
ANEXO III. ANALISIS DE AGUA EN LOS LAGOS Y ANALISIS DE PARASISTOS EN PECES.	157
✓ Físicoquímicos del lago.	158
✓ Análisis de parásitos	159



Agradezco al Dr. Cesar Mateo Flores Ortiz jefe del Laboratorio Nacional en Salud: Diagnóstico Molecular y Efecto Ambiental en Enfermedades Crónico-Degenerativas y a su colaborador el Dr. Luis Barbo Hernández Portillo. Por su invaluable apoyo en los análisis de espectrofotometría de los huesos y musculatura de los peces de este trabajo.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Agradezco al Proyecto de investigación en Limnología Tropical dirigido por el Dr. Javier Alcocer Durand y al Dr. Luis Alberto Oseguera Pérez, por su confianza y su apoyo para la realización de este trabajo.



RESUMEN

La ciudad de México brinda hogar a más de 8,855 Millones de habitantes,, de acuerdo a lo reportado por INEGI, como es bien sabido la ciudad se encuentra en una cuenca, la cuenca del Valle de México, debido a esto y a la gran demanda de necesidades de la población, debido al gran número de demandas , es por ello que la ciudad alberga un gran número de lagos, tanto naturales como artificiales , los cuales abastecen parte de estas necesidades (la crianza de peces de importancia alimenticia y de ornato, preservación de especies endémicas y actividades de recreación) un claro ejemplo de estos cuerpos de agua son Los Lagos de Chapultepec, los cuales son lagos artificiales , estos fueron construidos en 1962 sobre una antigua zona de minas. En estos lagos cohabita una gran comunidad ecológica, dentro de ella se puede encontrar algunos peces como charales (*Chirostoma jordani*), Mexcalpiques (*Girardinichtys viviparus*) y pez tiro (*Goodea atripinnis*).

Los cambios que han sufrido los lagos a lo largo de este tiempo son muy evidentes, estos han generado al paso del tiempo problemas con la calidad del agua y por ende con las otras especies que viven en el lago, así como también es importante recalcar que el lago presenta acumulada una gran cantidad de materia orgánica debido a que no cuenta con una estrategia de limpieza; otro aspecto de gran relevancia para el lago es el contenido de metales pesados en el cuerpo de agua y los metales pesados acumulados en los organismos, como es bien sabido los metales pesados constituyen un problema de salud severo, debido a que estos elementos químicos son de importancia fisiológica , el problema radica en la concentración en la que se encuentren, es decir si son concentraciones altas o bajas, ya son un problema, estos elementos son considerados como nefrotóxicos debido a que al entrar al organismo dañan la producción de Vitamina D, la cual es producida en el riñón, ésta se encarga de la regulación homeostática del Calcio(Ca),lo que significa que permite la fijación de este mineral en el tejido óseo, siendo esta una de las vías de fijación de los contaminantes a nivel muscular y óseo en los peces, causando no solamente afectaciones morfológicas si no también funcionales.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Es por ello que el objetivo general de este trabajo es la Descripción de la bioacumulación de metales pesados en las zonas musculares y óseas en los charales (*Chirostoma jordani*), mexcalpiques (*Girardinichtys viviparus*) y Pez tiro (*Goodea atripinnis*) del Lago de Chapultepec, Ciudad de México.

Para lograr el objetivo anteriormente mencionado se requirió de la colecta de los organismos del lago a través de un chinchorro y posteriormente estos fueron fijados en Formaldehído al 4 % y trasladado a laboratorio de Anatomía de Vertebrados y Educación Científica en la Fes Iztacala para su diafanización, posteriormente los ejemplares fueron sometidos a una espectrofotometría, en donde se conocieron las concentraciones de los elementos presentes en los organismos. La diafanización de los organismos nos permitió observar ciertas anomalías, por ejemplo en todos los ejemplares presentaron cambios de coloración, es decir las coloraciones reportadas para cada uno de los organismos era totalmente distinta en los peces de Chapultepec, así como también existe una diferencia notoria en talla y peso, así como también la osificación de los organismos es realmente baja, los resultados arrojaron que tanto para charales como para Mexcal piques cráneo y columna vertebral constituyen las zonas con mayor bio acumulación de metales pesados, en el caso de los peces tiro estos presentan mayor bio acumulación únicamente en columna vertebral, así como también la bio acumulación fue notoria en aletas para pez tiro y para los mexcalpiques, cabe mencionar que aunado a las zonas de bio acumulación también se presentan malformaciones óseas, las cuales se infiere son producto de la bioacumulación; por otro lado la espectrofotometría arrojó los resultados para un gran número de elementos, dentro de los cuales podemos destacar en hueso de *C. jordani*: S, Si, Al, Co,Cu,Ag y Hg y en el caso de *G. atripinnis* se presentan con mayor concentración S, Si, Al, Co,Cu, Ag y Cd, en el caso del músculo de *C. jordani* : Si, Si,Co, V,Cu, Sr, Hg, Ag y en el pez tiro se presentan : Si, Si,Sr,Cu y Hg, siendo estos contaminantes los más abundantes en los peces.



INTRODUCCION.

La ciudad de México brinda hogar a más de 8,855 Millones de habitantes, según lo reportado hasta 2015 por INEGI; como es bien sabido la ciudad se encuentra en una cuenca, la cuenca del Valle de México, debido a esto y a la gran demanda de necesidades de la población, la ciudad cuenta con muchos lagos naturales y artificiales, los cuales se encargan de satisfacer necesidades como la crianza de peces de importancia alimenticia y de ornato, preservación de especies endémicas y actividades de recreación, un claro ejemplo de estos lagos, son los Lagos de Chapultepec, que como es bien sabido estos lagos son artificiales, fueron construidos en 1962 sobre una antigua zona de minas, este sistema acuático está constituido por el “Lago Mayor” que mide más de 52,300 metros cuadrados con 39,700 metros cúbicos de agua y por el “Lago Menor” mide 14,400 metros cuadrados y 13,000 metros cúbicos de capacidad. Otro aspecto de gran relevancia en estos lagos es que se reporta la existencia de una comunidad ecológica completa, entre los que se cuentan con grupos como los peces, charales (*Chirostoma jordani*), Mexcalpiques (*Girardinichtys viviparus*) y pez tiro (*Goodea atripinnis*). (Navarrete-Salgado, Contreras-Rivero, Jacobo-Segura, 2010).

Los lagos han cambiado a lo largo del tiempo, como es bien sabido la ciudad está atravesando por problemas ambientales muy serios, los altos índices de contaminación, la elevada producción de gases de efecto invernadero, los altos consumos energéticos, la contaminación de los cuerpos de agua, entre otros factores han contribuido a que los lagos manifiesten cambios que son muy evidentes a lo largo del tiempo, los lagos también han sufrido cambios de manera directa, por ejemplo la introducción de especies invasoras como es el caso de las tilapias y otras especies ha generado al paso del tiempo problemas con la calidad del agua y por ende con las otras especies que viven en el lago, así como también es importante recalcar que estos cuerpos de agua no cuentan con un sistema de limpieza, por lo que acumula en el suelo de concreto materia orgánica y algunos otros materiales, que son producto de la actividad humana en el lago; debido a



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

que el lago tiene una finalidad recreativa mucho del sustrato acumulado en el lago es debido a que es común que los visitantes arrojen comida a los peces o a las aves, así como también es común que en los lagos sean encontrados objetos esotéricos, solo por mencionar algunos; en el otro extremo es importante mencionar que estos lagos artificiales son alimentados por aguas tratadas, lo que también contribuye al estado actual de éstos.

Un aspecto relevante actualmente es el estudio de metales pesados en los cuerpos de agua, debido a que estos contaminantes están causando graves problemas a nivel ecológico y de salud.

Los metales pesados constituyen un grupo de elementos químicos, estos son sólidos a temperatura normal, exceptuando al Mercurio que se presenta en estado líquido, son muy tóxicos; al estar en contacto con un organismo su mecanismo de acción es muy particular, este depende del elemento que se trate, actualmente los más estudiados son Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Aluminio (Al), entre otros, de acuerdo a los estudios realizados se sabe que son considerados nefrotóxicos, debido a que al entrar al organismo dañan la producción de Vitamina D, la cual es producida en el riñón, ésta se encarga de la regulación homeostática del Calcio (Ca), lo que significa que permite la fijación de este mineral en el tejido óseo, es por ello que éstos pueden fijarse a las estructuras óseas y musculares de los peces, afectando no solo la morfología sino la función de estos, provocándoles deformación ya sea del esqueleto o la musculatura del organismo. (Alvarez, 2008).

Los metales pesados constituyen un problema de salud mundial, debido a que actualmente las cantidades de los mismos han aumentado de una manera descontrolada y están contaminando alimentos, fuentes de agua potable y suelos. Como es bien sabido también son de importancia para los seres vivos, ya que son necesarios para ciertas funciones biológicas, el problema radica en el exceso o en el déficit de estos para el organismo, los más conocidos y más estudiados son



Plomo, Cadmio, Zinc, Cobre, Hierro, Manganeso y Azufre, por mencionar algunos, se sabe que estos causan algunas afecciones a la salud, por su prolongada exposición o por el consumo en grandes cantidades, por ejemplo el Pb tiene graves efectos en diferentes órganos, en el cerebro afecta el desarrollo y capacidad mental de los niños, en el caso del Cd se reporta según la OMS 2013, anemia, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, por mencionar algunos padecimientos, en caso del cobre se sabe que puede producir necrosis hepática y muerte; siendo estos metales los más conocidos y mayormente estudiados.

Actualmente el estudio de los metales pesados está siendo de gran importancia, pero para poder concretarlos se requiere un conjunto de técnicas que permitan abordar distintas aristas del estudio. Las técnicas anatómicas contribuyen en gran parte al estudio, debido a que gracias a ellas podemos conocer distintos tipos de deformaciones óseas y en algunos casos cuál es su origen (contaminación, desnutrición o endogamia); una de estas técnicas es llamada diafanización, la cual “permite la igualación de los índices de refracción de la luz del interior de un órgano con el medio que lo contiene, con el fin de poner de manifiesto otras estructuras anatómicas internas”. (Rivera et al 2016 y Gersenowies y Sanchez, 2010) todo esto es posible por una digestión alcalina de la musculatura haciéndola transparente y la tinción del hueso con colorantes específicos a fosfatos de calcio como lo es el rojo de alizarina, es un colorante extraído de la raíz de rubia que tiñe el hueso (Cortes-Delgado y Cols., 2009).

Lemnias en 1951 reporta en su análisis que la coloración que toman los huesos en el proceso dependen de la afinidad química del colorante con los fosfatos de calcio propios del hueso; se sabe que químicamente el rojo de alizarina se une al hueso debido a que produce una quelación de una molécula de calcio mediante dos moléculas de rojo de alizarina, esto podría ser posible debido a que las moléculas de oxígeno presentes en los grupos quinona y fenol del colorante se comportan como dadores de electrones y establecen con el calcio dos anillos



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

estables (Kiernan,1990). Por otro lado Lievremont y colaboradores (1982) plantean una hipótesis sobre la unión del colorante y el calcio, mencionan que existe una relación 1:1, es decir que por cada molécula de Ca hay una de rojo de alizarina y debido a esto sugieren que la unión con el calcio se produce a través del residuo del hidroxilo del grupo fenol y del grupo sulfonato de la molécula de rojo; se sabe que para que la unión óptima del Ca con el colorante se lleve a cabo, esta debe realizarse en un rango de pH de 4 a 8.

Es por esta razón que el objetivo del presente trabajo es detectar la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso en los charales (*Chirostoma jordani*) y dos especies de Goodeidos (*Girardinichtys viviparus* y *Goodea atripinnis*) del Lago de Chapultepec, Ciudad de México.

BIOLOGIA DE LOS ORGANISMOS

Como es bien sabido los charales son organismos de gran importancia comercial, de acuerdo a SAGARPA(2016) su producción se duplicó en el país, esto debido a que también son de vital importancia en la dieta del pueblo Mexicano por su alto contenido nutricional y su accesibilidad, estos organismos pertenecen a la familia Atherinopsidae, esta familia es de origen marino, pero actualmente se encuentra habitando ambientes dulceacuícolas, dentro de esta familia se encuentran: diez géneros: dos, cuyas especies están restringidas a las aguas dulces del altiplano (*Chirostoma* Swainson 1839 y Poblana De Buen 1945) y ocho adicionales en ambientes mixohalinos, oligohalinos e hipersalinos de ambas costas del país. En el lago de Chapultepec se encuentra un representante del género *Chirostoma*, *C. jordani*, los cuales son llamados charales y pescado blanco (Castro-Aguirre y Espinosa.2006).



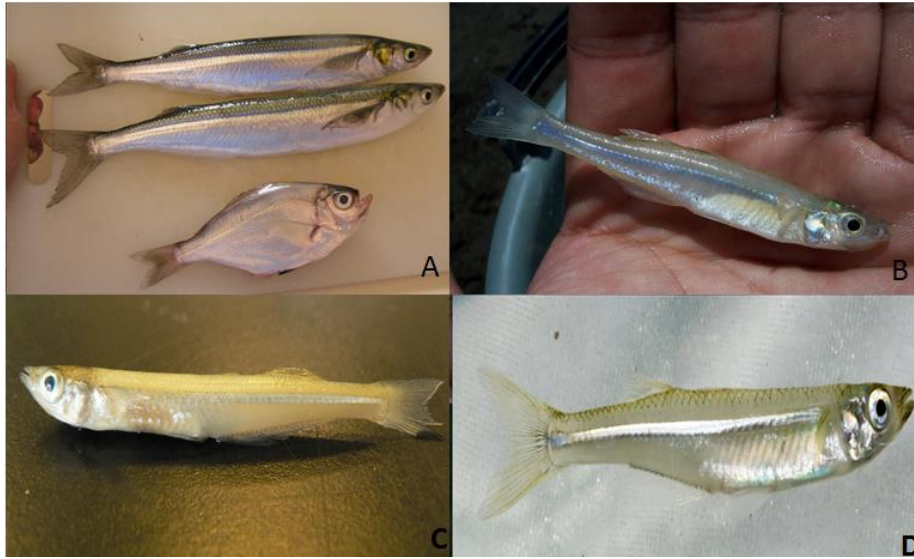


Figura 1: diversidad de la familia Atherinopsidae, A) Pejerrey pescadilo (*Atherinops affinis*), B) charal prieto (*C.attenuatum*), C)*Labidesthes sicculus* y D) Subfamilia Menidiinae. Tomado de Naturalista.

Los charales son endémicos de México, son peces de ambientes estuarios y dulceacuícolas. Estos organismos son de gran importancia cultural, económica y ecológica; existen registros prehistóricos de su consumo y cabe mencionar que actualmente siguen siendo uno de los productos más nutritivos, accesibles y baratos para la población mexicana, son de importancia económica para el país , debido a que su producción se duplicó para 2016 y es producido en varios estados de la república mexicana, ecológicamente son considerados como bio indicadores, los cuales indican las condiciones del agua (Sánchez-Marino et al 2006;UNAM,2013;Navarrete-Salgado,2017; SAGARPA, 2017).



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Figura 2: La importancia económica de los charales para la población Mexicana, siendo parte fundamental de la dieta, debido a su alto contenido nutricional y su accesibilidad.

Estos organismos presentan un cuerpo esbelto y comprimido, una banda lateral plateada ancha, una boca generalmente pequeña con dientes débiles y ausencia de una línea lateral, la talla promedio de los charales de Chapultepec fue de 7.17 cm (LT) Y 6.22 cm (LP), presentaban una coloración amarillenta y una muy definida línea plateada que se prolongaba desde el pedúnculo caudal hasta el opérculo.

CLASIFICACION TAXONOMICA DEL CHARAL

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Atheriniformes

Familia: Atherinopsidae

Género: *Chirostoma*

Especie: ***Chirostoma jordani*** Swainson, 1839



Por otra parte la familia Goodeidae, es una familia endémica de la Mesa central de México, dentro de esta familia podemos localizar a dos especies de interés, los Mexcalpiques (*G. viviparus*) y el pez tiro (*G. atripinnis*) (Rush, 2009)

Los Mexcalpiques, forman también parte de la ictiofauna del lago, su distribución es reducida y específica, actualmente se conocen pocos sitios de permanencia para esta especie, debido a que está protegida bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010; son peces vivíparos y dulceacuícolas, el dimorfismo sexual es evidente, los



machos adultos presentan un tamaño que va desde los 60 a 220 mm, además de una coloración oscura (negro), la cual es mayormente visible en la época reproductiva, pueden presentar una mancha encima del ano, la base de la aleta dorsal es aproximadamente igual que la base de la aleta anal, también presenta la modificación en los primeros radios de esta, su función es conducir los gametos masculinos hacia la hembra. Para el caso de las hembras son generalmente de mayor tamaño y de colores más claros, con un cuerpo más esbelto (Montesinos, 2013; Navarrete et al, 2004; Rush, 2009)

La incorporación de esta especie a la lista de extinción ha sido posible gracias a que el consumo de estos se ha incrementado, la contaminación de los cuerpos de agua dulce y la pérdida de estos, han contribuido a la acelerada disminución en la población los Mexcalpiques.

TAXONOMIA DEL MEXCALPIQUE.

Clase: Actinopterygii

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Goodeidae

Género: *Girardinichtys*

Especie: ***Girardinichtys viviparus***



Bustamante, 1837

El pez tiro (*Goodea atripinnis*) es otra de los organismos presentes en el lago y estudiados en este trabajo; estos peces se caracterizan por habitar lagos, estanques, manantiales y afluentes, de aguas claras o turbias, su dieta consiste en algas verdes filamentosas, microcrutaceos y moluscos, presentan un cuerpo alargado, comprimido y un dorso casi recto, poco elevado, el pedúnculo caudal es profundo, cabeza acortada y deprimida, triangular y puntiaguda, la boca tiene una anchura con dientes bífidos aproximadamente 40 en cada mandíbula, abundantes



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

branquiespinas, una aleta dorsal con 12 a 15 radios, pectoral con 14 a 16 radios, la pélvica con seis radios, la anal con 13 a 16 radios, anal del macho con seis de estos rayos que comprenden el lóbulo anterior, el gonopodio, separado por muesca del resto de la aleta y la caudal con 18 a 21 radios, adultos tienen la característica del vientre amarillento y una coloración verdosa o café a marrón oscuro.

Se alimentan por ramoneo y filtración. Estos organismos son localizados generalmente a la mitad de la columna de agua y en el fondo. (Hubbs y Turner, 1939; Kobelkowsky, 2005; Rush, 2009 y Miranda et al 2010).

TAXONOMIA DEL PEZ TIRO

Clase: Actinopterygii

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Goodeidae

Orden: Cyprinodontiformes

Género: Goodea

Especie: ***Goodea atripinnis*** Jordán ,1880



ANTECEDENTES

Se han realizado estudios sobre las especies presentes en este trabajo, es por ello que a continuación serán presentados de la siguiente manera; de primera instancia se encuentran los trabajos relacionados a la biología de los organismos y por último los estudios sobre contenido de metales pesados en peces, los cuales son divididos en dos grupos: metales presentes en musculo y órganos y presentes en el esqueleto.

BIOLOGÍA DE LOS ORGANISMOS

✓ Charales (*C.jordani*)

➤ Navarrete, Sanchez y Rojas (1996). Realizaron un estudio sobre la selección de zooplancton del charal *Chirostoma jordani* (Atheriniformes: Atherinidae), donde reportan que la comunidad de zooplancton disponible está conformada por una gran variedad de microorganismos, siendo representantes seis géneros de los cuales *Diaptomus* fue el más abundante durante todo un año; los charales seleccionan su alimento, siendo los géneros *Bosmina*, *Daphnia* y *Diaptomus*, los preferidos.

➤ Fernández, Navarrete-Salgado y Robles, 2008; Mencionan en su estudio Alimentación de *Chirostoma humboldtianum* (en el estanque JC en Soyaniquilpan, Estado de México); que los charales tiene preferencia por el agua templada, turbia y con una cantidad regulada de Oxígeno, la dieta de estos organismo es mas amplia, llegando a consumir un aproximado de 21 tipos distintos de organismos.

➤ Navarrete-Salgado, Contreras-Rivero y Jacobo-Segura(2010), realizan un estudio sobre la situación de *Menidia jordani* (Pisces: Atherinopsidae) en el embalse de la Goleta, Estado de México, quienes



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

mencionan que la mayor abundancia de la población se presentó en 1998, aproximadamente (300 peces-1000m²), mientras que la mejor abundancia se presentó en 2008 (5 orgs-1000m²). Además infieren que estos resultados son producto de la introducción de especies invasoras como las carpas (*Cyprinus carpio*), la carpa dorada (*Carassius auratus*), una especie carnívora (*Micropterus salmoides*), el céstodo (*Bothriocephalus acheilognathi*) ,con las cuales compiten, además de la introducción de estas especies, la disminución poblacional se le atribuye también al vertido de aguas negras hacia este sistema.

➤ Navarrete-Salgado y Contreras-Rivero (2011). Realizan un estudio sobre el crecimiento y mortalidad del charal (*Menidia jordanii*) en el estanque Guillermo Lagunes (GL), Estado de México, donde reportan que los organismos se encontraron en cuatro clases de edades, la longitud máxima promedio fue de 6.4 cm y la tasa de crecimiento de - 0.5861, el peso máximo fue de 7.6 gr, la mortalidad fue de -1.979 (86%) y la sobrevivencia de una 14%.

✓ Mexcalpique (*G. viviparus*)

➤ Ojendis (1985). Reporta en su trabajo Contribución al conocimiento de la biología del Mexcalpique (*Girardinichtys viviparus*), con algunos aspectos ecológicos de la parte norte del Ex – lago de Texcoco, que la población de los mexcalpiques es altamente tolerante a los cambios de fisicoquímicos del cuerpo de agua, además de que estos peces suelen alimentarse de algas (espirulina), ciclopoideos y larvas de Chirómidos (mosca de los lagos) y por sus hábitos alimenticios son considerados como oportunistas, la estructura poblacional de los peces está compuesta en su mayoría por hembras.



- Godínez (2001). Realizo un estudio sobre las condiciones ambientales que favorecen el mantenimiento y la reproducción del Mexclapilque *Girardinichthys viviparus* (Goodeidae), en condiciones de laboratorio.
- Navarrete-Salgado, Contreras-Rivero y Elias-Fernandez, (2003). Realizan un trabajo sobre la abundancia y estado sanitario del mexclapilque (*Girardinichthys viviparus*) en cuerpos de agua del centro de México, el estudio consiste en una evaluación sanitaria, a través de parámetros fisicoquímicos para las lagunas de Zumpango y Requena, y los tres lagos de Chapultepec, y con base en esto lograron establecer que no existe población alguna en la laguna de Zumpango y Requena, debido a que estos cuerpos de agua son alimentados por aguas negras e industriales de la CDMX, además de una colonización descontrolada del lirio acuático.
- Montesinos (2013) habla sobre Edad y crecimiento de *Girardinichthys viviparus* en el lago urbano de la Alameda Oriente, D.F, menciona que la estructura poblacional de esta especie está compuesta en su mayoría por hembras y que estas presentan un crecimiento alométrico positivo con tendencia a la isometría y debido a esto la hembra será más pesada en relación a su longitud; en el caso de los machos presentan un crecimiento es alométrico negativo y de igual manera con tendencia a isometría.

Presencia de metales pesados en peces.

- ✓ Metales pesados en músculo y órganos

- Peso, Paredes y Bedayán (1992). Realizaron un estudio sobre la determinación de metales pesados bioacumulables en especies icticas de consumo humano en la amazonia peruana, se reporta el estudio de cuatro metales Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Cobre (Cu), de acuerdo



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

a lo obtenido se sabe que la concentraciones presente en los organismos es menor que los límites establecidos para el pescado, excepto en una especie en el "Dorado (*Brachyplatistoma flavicans*).

- ❖ Mancera-Rodríguez (2006) en su estudio Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia, menciona que los peces tiene una mayor tolerancia a las concentraciones de estos metales, pero esto implica que su consumo genere repercusiones en la salud de la población, los metales presentes en los organismos provienen de su uso en la actividad minera y por actividades petroquímicas.
- ❖ Karadede-Akin y Ünlü, (2007). Realizan un trabajo sobre concentraciones de metales pesados en agua, sedimentos, peces y algunos organismos bentónicos del rio Tigris, Turquía, se determinaron las concentraciones de metales pesados, como Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en agua, sedimento, músculo, hígado y branquias de peces (*Silurus triostegus*, *Mastacembelus simack*, *Mystus halepensis*, *Orthrias euphraticus* .
- ❖ Salazar-Lugo. (2009) Presenta su estudio Estado de conocimiento de las concentraciones de Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y plomo (Pb) en organismos acuáticos de Venezuela, relacionada con el desarrollo de la industria siderúrgica y petrolera. Las especies mencionadas corresponden a invertebrados acuáticos y algunos peces.
- ❖ Gôrûr et al (2012) en su estudio Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey., mencionan que los peces del mar Negro son de gran importancia para la alimentación de la población, el mar negro fue contaminado con el accidente de Chernobil en 1986; analizaron las



concentraciones de metales como As,Mn, Fe,Cr,Ni,Zn,Cu y Pb en cuatro especies .

- ✿ Jaramillo (2009). realizo un estudio sobre la relaciones con la acumulación de metales pesados, menciona que los estudios de índole ecología se tiene implicados varios factores, como lo son la biología y la fisiología de las especies con su hábitat, entre otras; el estudio se realizó en salmonete de roca (*Mullus surmuletus*), el lenguado tigre (*Synaptura lusitanica*), la escorpa (*Scorpaena scrofa*), la rata (*Uranoscopus scaber*) y el torpedo común o vaca (*Torpedo torpedo*),no se encontró un patrón de acumulación en las especies y también se obtuvo que el metal con menor presencia fue el plomo (Pb) y Cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) se encontraron el proporciones similares entre sí.

- ✿ Rodríguez et al, 2012. En su trabajo Metales pesados en el pez *Dormitator latifrons* (RICHARDSON, 1844) y agua de la laguna Tres palos, Guerrero, México. Mencionan que se detectó Pb en el pez y contenido en el agua, la mayor concentración de este metal se encontró en el musculo, el Cr, Cd y Mn se encontraron a branquias en altas concentraciones.

- ✿ García-de-Sotero y Alva-Astudillo (2013) realizaron la evaluación de la concentración de metales pesados en el musculo de especies comerciales de la ciudad de Iquitos, Nauta y Requena, los resultados arrojaron que todos los organismos estudiados de Iquitos y Nauta, tanto en creciente como en vaciante, superan los límites respecto a la acumulación de plomo y cromo comparados con los límites máximos permitidos.

- ✿ Rajkowskay Protasowicki(2013): en su trabajo distribución de metales (Fe, Mn, Zn, Cu) en tejidos de peces en dos lagos de diferentes trofeos en el noroeste de Polonia, en dos especies de peces pike (*Esox lucius L*) y bream (*Abramis brama L.*)mencionan que todos los metales fueron



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

localizados en el músculo, el Fe se localiza en el bazo, los riñones y el hígado las mayores acumulaciones, el Mn en la piel, branquias y gónadas, el Zinc fue localizado en el tracto digestivo y branquias, el Cu se localizó en el hígado.

- ❖ Leung y colaboradores (2014) reportan en su trabajo Evaluación de concentración de metales pesados (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) en tejidos de especies de peces comestibles en el Río Perla de China, se obtuvieron niveles significantes de metales pesados en los tejidos de los peces, menciona que es importante realizar estudios posteriores para medir la concentración de los metales a futuro, en algunas especies de peces y evitar riesgos a la salud.
- ❖ Lozada-Zarate, Monks y Pulido-Flores(n/d): Mencionan en su trabajo determinación de metales pesados en *Cyprinus Carpio* en la laguna de Metztilan, Hidalgo, México, que los metales más abundantes en el cuerpo del organismo son Pb (plomo) acumulado en piel y huesos, siendo los huesos la mayor zona de acumulación para éste, y Al (aluminio), el cual se presentó en todos los órganos de la carpa, concluyendo que la presencia de Pb en zonas del cuerpo es causada por la sustitución en la ruta metabólica por el Ca (calcio) y que la acumulación de potasio y Zinc deben ser estudiadas por un periodo más prolongado, para poder establecer la relación de los metales con el metabolismo del organismo.
- ❖ Moselhy et al (2014) en su estudio Bioaccumulation of heavy metals in some tissue in the Red Sea, Egypt. Menciona que la mayor concentración de metales pesados como (Cu, Zn, Pb y Cd) se localizó en el hígado, branquias y músculo de catorce organismos bentónicos y pelágicos, los niveles de los metales variaron dependiendo de la especie y de sus órganos, los músculos fueron el sitio con menor concentración de los metales.



- ✿ (Mziray y Kimirei (2016). En su trabajo Bioaccumulation of heavy metals in marine fishes (*Siganus sutor*, *Lethrinus harak*, and *Rastrelliger kanagurta*) from Dar es Salaam Tanzania. El estudio fue realizado en 3 especies de peces de importancia comercial whitespotted rabbitfish (*Siganus sutor*), thumbprint emperor (*Lethrinus harak*), and the Indian Mackerel (*Rastrelliger kanagurta*), reportan que las concentraciones de metales pesados en los músculos de los organismos difirieron significativamente, esto siendo resultado de su hábitos alimenticios y su hábitat. Los niveles de ingesta de metal (aluminio (Al), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) en los músculos de los peces estaban por debajo de los niveles máximos de FAO / OMS para contaminantes y toxinas en los alimentos para el consumo humano, excepto el arsénico (As), que fueron más altos que los niveles recomendados en *Lethrinus*.
- ✿ Pájaro y Sanchez 2016, en su estudio “Evaluación de las concentraciones de metales pesados (Cd y Pb) en especies icticas comercializadas en la plaza del pescado de la ciudad de barranquilla y riesgo potencial para la salud humana”, las especies Lebranche (*Mugil liza*), Bocachico (*Prochilodus magdalenae*), Mojarra rayada (*Eugerresm plumieri*), Mojarra Lora (*Oreochromis niloticus*) y Mojarra Roja (*Oreochromis sp*), menciona que la mayor concentración de Pb se localizó en *Oreochromis sp*, mientras que los niveles de Cd más bajos se evidenciaron en *Oreochromis niloticus* con y para el Pb en la *Mugil liza*.
- ✿ Yun-Ru Ju et al (2017) en su estudio “Assessmente of heavy metals in aquaculture fishes collected from southwest coast of Taiwán and human consumption risk”, reportan que los niveles de acumulación de los metales revelaron que existe un patrón de acumulación de metales pesados en los tejidos de la tilapia, exceptuando al Cu, el cual se encontró en mayor concentración en los riñones.



- ✿ Rjeshkumar y Li (2018) Reportan en su estudio Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China, que la concentración de Cr, Cu, Cd y Pb estaba por debajo de los límites permisibles en la norma de salud de alimentos en China, se presentaron diferencias en las concentraciones de los metales en las dos especies, el Pb se encontró en alto contenido en el hígado para ambas especies, el Cd fue una concentración similar en todos los órganos, el Cr presentó una mayor concentración en el riñón y el hígado, el Cu se presentó con mayor concentración en las branquias, de modo que los órganos con mayor concentración de metales fueron el hígado y las branquias y la concentración menor fue en los músculos.

Considerando todo lo anterior se puede observar que existen estudios sobre bioacumulación de metales pesados que fundamentan el presente trabajo, la mayoría de estos tiene un fundamento químico, es decir, la mayoría de los estudios presentados con anterioridad han estudiado los metales pesados únicamente a través de espectrofotometrías, las cuales son vitales para conocer cuáles y cuál es la concentración en la que estos se encuentran en los organismos, otro aspecto importante de recalcar es que todos estos estudios se han realizado en especies de importancia comercial, debido a que estos organismos deben presentar niveles bajos de ciertos metales pesados, ya que de acuerdo a lo establecido en las normas de la FAO



JUSTIFICACIÓN.

Actualmente existen algunos estudios dedicados a la anatomía de ciertas especies que se encuentran en ecosistemas perturbados por contaminantes, cabe mencionar que la mayoría de estos son referidos a la presencia de metales pesados en los órganos de los peces, es importante recalcar que son muy pocos los trabajos que se encargan de analizar la presencia de metales en tejido óseo.

Por lo que el objetivo del siguiente estudio es contribuir a la información anatómica de especies de importancia ecológica y económica, para la población Mexicana.

La mayoría de estudios se enfoca a cuerpos de agua en ambientes naturales, en este caso el estudio se realizó en un ambiente artificial (urbano), donde la interacción con el hombre es muy alta y como consecuencia de esto la cantidad de materia orgánica que se genera es alta, otro aspecto es el mantenimiento de este sistema, el cual tiene un costo muy elevado.

A pesar de la gran cantidad de información o investigaciones que se han realizado sobre la bioacumulación de metales pesados en distintos grupos animales, la gran mayoría de los trabajos se enfocan a órganos internos como lo son las agallas, el hígado, los riñones y las gónadas, por mencionar los más estudiados.



OBJETIVOS.

General

- Ω Descripción de la bio acumulación de metales pesados en las zonas musculares y óseas en los charales (*Chirostoma jordani*), mexcalpiques (*Girardinichtys viviparus*) y Pez tiro (*Goodea atripinnis*) del Lago de Chapultepec, Ciudad de México.

Particular

- Ω Determinación de la presencia de metales pesados en los músculos y huesos.
- Ω Descripción anatómica de las zonas musculares y óseas donde se observa la bio acumulación.
- Ω Comparación anatómica del esqueleto de charales, mexcalpiques y pez tiro.
- Ω Análisis de los daños estructurales en musculo y en hueso ocasionados por la bio acumulación a través de una espectrofotometría.



METODOLOGÍA

A continuación se describirá la metodología que se realizó en el presente trabajo para cumplir con los objetivos planteados con anterioridad:

Se obtuvieron 50 charales (*Chirostoma jordani*), 10 mexcalpiques (*Girardinichthys viviparus*) y 50 peces tiro (*Goodea atripinnis*) a través de un chinchorreo realizado en el lago mayor; se tomaron también muestras de agua para realizar los análisis fisicoquímicos (alcalinidad, dureza, conductividad eléctrica, pH y cargas iónicas, así como también para el análisis de contenido de metales pesados) con el invaluable apoyo del grupo de Limnología tropical dirigido dignamente por el Dr. Javier Alcocer Durand y el Dr. Luis Alberto Oseguera.

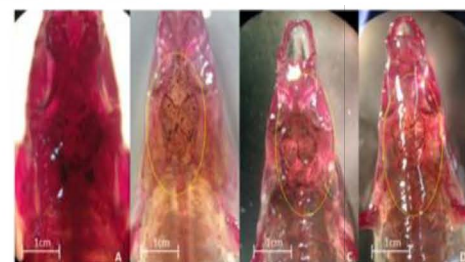
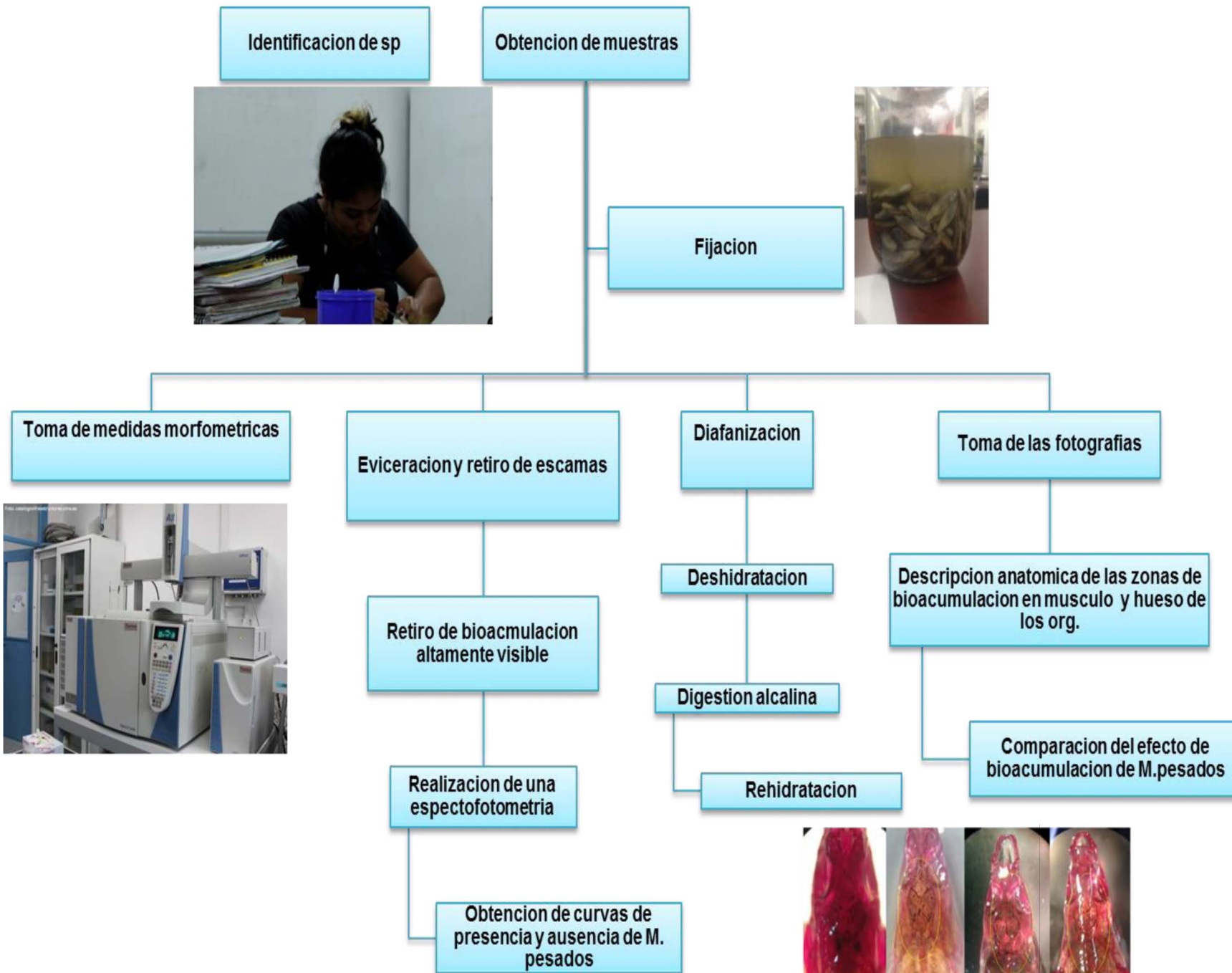
Posteriormente los organismos fueron transportados al laboratorio de Anatomía de Vertebrados y Educación Científica LAVEC de la FESI, para su fijación con formaldehído al 4%, consecutivamente se tomaron seis medidas morfo métricas representativas en cada uno de ellos, las medidas fueron la longitud total, la longitud patrón, la longitud del cráneo, las cuales se presentan en el primer anexo en formato de Excel. Después de descamaron y evisceraron y entraron al proceso de diafanización; el cual consiste en la deshidratación de los peces en un tren de etanol del 20 al 96%, 24 horas en cada concentración, posteriormente entraron a KOH al 4% con rojo de alizarina y después de 3 días quedaron diafanizados para ser rehidratados en un tren ascendente de glicerina que va del 20 al 100% 24 horas en cada concentración.

Continuando con el proceso se hicieron observaciones al microscopio estereoscópico para determinar la presencia de metales pesados y malformaciones óseas. Se tomaron fotografías de los peces, en vista dorsal, ventral y lateral.

Una vez tomadas las fotografías, se procedió a la descripción anatómica de las deformaciones óseas y a la presencia o ausencia de metales pesados obteniéndose los siguientes resultados.



Diagrama de metodo



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpique y pez tiva del lago de Chapultepec

RESULTADOS.

Después de haber llevado a cabo la parte experimental en las tres especies de peces que estudiaron, a continuación serán presentados los resultados de la siguiente manera: primero se presentaran algunos aspectos curiosos que sucedieron durante la evisceración y el proceso de diafanización de los peces, posteriormente se presentaran los resultados obtenidos de la espectrofotometría que se realizó a musculo y hueso en dos de las especies estudiadas y donde se determinaron las concentraciones más altas de metales pesados vistos en estas estructuras.

- a) Proceso
- b) Espectrofotometría.
- d) Descripción

Es necesario antes de presentar los resultados mencionar algunas premisas que sucedieron en el proceso de diafanización que salen del patrón normal en los vertebrados sanos. Estas anomalías las presentamos en forma de premisas a continuación.

Un dato importante en la captura de estos organismos es que la población con mayor abundancia presente en el Lago de Chapultepec fue la de *Goodea atripinnis*, esto se infiere debido a que en la captura de los organismos, esta especie presento un total de 187 peces, por el lado de los charales únicamente se obtuvieron 50 especímenes y la población que tuvo una menor presencia fue la de los Mexcalpiques, únicamente con cinco organismos.

La primera anomalía antes de fijar los peces en formol, es el cambio de coloración externa, por ejemplo en los charales que comúnmente presentan coloración blanquecina a plateada, en Chapultepec los organismos presentaron un



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

coloración amarillenta, en el caso de los Mexcalpiques el cambio de coloración también fue muy notoria y en los peces tiro la coloración amarillenta también se hizo presente, cabe mencionar que de igual manera los cambios de etanol en los organismos fueron sumamente necesarios debido a los cambios de color de este en poco tiempo(IMAGEN #)



Figura 3: En la imagen A se observa la coloración normal de los charales (imagen izq) y del lado se puede observar la coloración amarillenta de los peces del lago de Chapultepec, en la imagen B de igual manera se presentan dos imágenes, la del lado izquierdo muestra la coloración normal del pez tiro y en la imagen del lado derecho se observa la coloración de *G. atripinnis* procedente del Lago de Chapultepec, como se mencionó con anterioridad los cambios de coloración son evidentes.

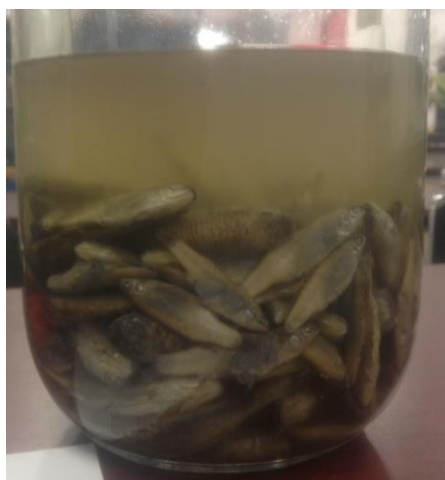


Figura 4: Se observa que el etanol donde se encuentran preservados los organismos, presenta una coloración turbia, cabe mencionar que se realizó el cambio del alcohol más de 4 veces.



Segunda anomalía, al eviscerar a los peces se observó que el estómago se encontraba lleno de materia orgánica de coloración oscura (mucho más de lo reportado) y se encontraba distendido, en el caso de los charales eran hembras preñadas, de una talla promedio entre los siete y los ocho centímetros talla que llamo nuestra atención porque charales de otras regiones como Texcoco alcanzan una media de cuatro cm, esto duplica el tamaño para estos organismos, siendo esto probable debido al exceso de alimento en el lago, estos cambios en el sistema digestivo tanto de coloración como de olor se presentaron también en *G. viviparus*, donde de igual manera estos organismos y *G. atripinnis*, siendo más notorios en estos últimos organismos.



Figura 5: se observan las vísceras de *G. atripinnis*, como se menciona con anterioridad presentan una coloración muy oscura, además de que su olor era demasiado fuerte y muy desagradable.

Tercera anomalía al descamar a los peces fue muy notorio que las escamas se encontraban superficialmente adheridas en la piel, aspecto extraño en peces sanos, algunas de las escamas se quedaron pegadas al organismo y cuando se diafanizaron los peces las escamas se deshicieron en su mayoría y algunas que se lograron recolectar al ser observadas presentan modificaciones. Otro aspecto a considerar en esta parte es que normalmente al descamar desaparece la línea lateral (pues está hecha de escamas modificadas), para estos organismos, lejos



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

de desaparecer se conservó de manera muy marcada, en una tonalidad muy oscura; al termino el proceso de diafanizacion continua presente la línea lateral de color negro, al revisarla al microscopio se nota de manera evidente la presencia de metales pesados en a lo largo de ella.

Otro aspecto de vital importancia para considerar es el tiempo de diafanizacion, cabe mencionar que no existe un tiempo establecido en el que se diafaniza un pez, pero debido a otros estudios realizados anteriormente algunos peces sanos se da en un mínimo de quince días, mientras que estos peces se diafanizaron todos en un periodo de tres días.

La cuarta anomalía es la tinción, la coloración normal al teñir el esqueleto de los peces es de color morada a rojo intenso y en el caso de estos organismos la coloración fue rosa tenue.

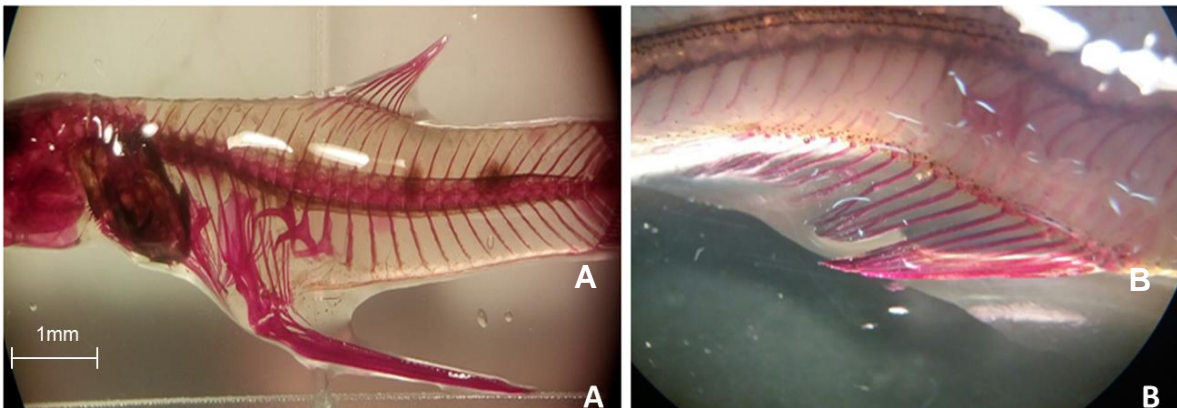


Figura 6: En la imagen A se puede observar una coloración morada intensa, correspondiente a un espécimen de *Chirostoma* sp, procedente del Lago de Texcoco, por el contrario lo observado en B muestra una coloración rosada tenue, para el organismo *C.jordani*, proveniente del Lago de Chapultepec.

Cuando se diafanizan los vertebrados normalmente hay un cambio de KOH debido a la saponificación del hidróxido por la digestión alcalina misma. En este estudio en particular no hubo necesidad de un cambio de hidróxido, por lo que podemos determinar que tienen muy poca grasa en el cuerpo.



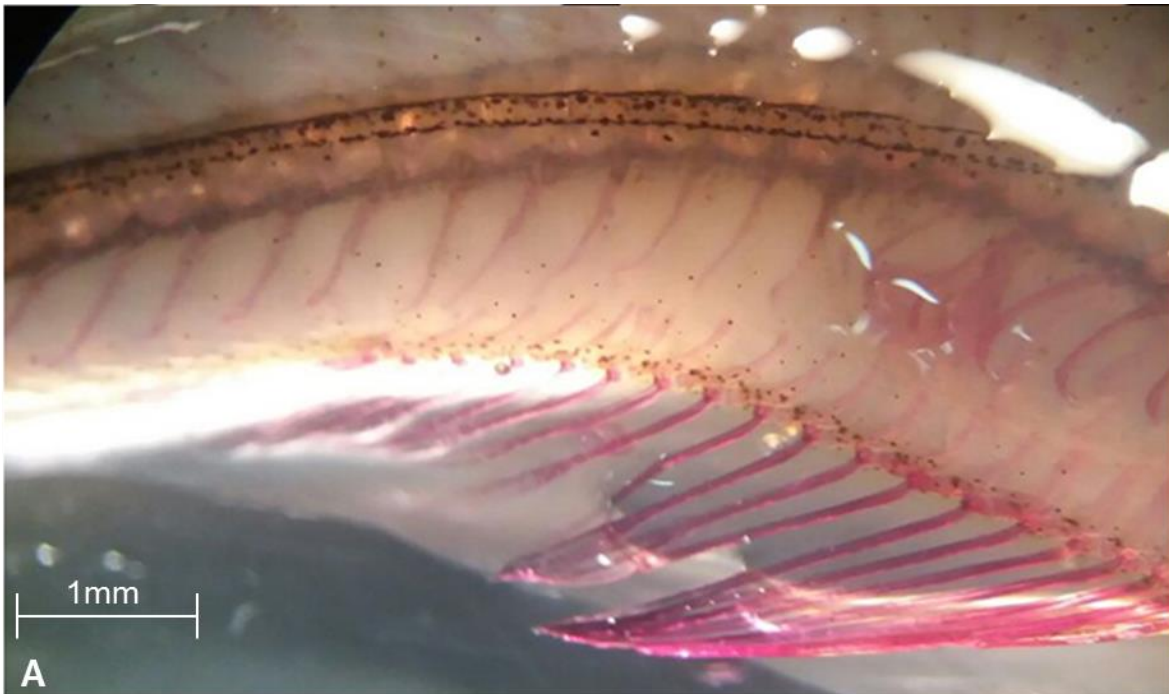


Figura 7. se observa en A la permanencia de una línea lateral de color oscuro, pasando por todo el cuerpo del organismo.

La última anomalía que pudimos observar en el proceso de diafanización de los peces es que al estar en glicerina al 100% terminaron de abrir de la región abdominal y se endureció el tejido, aspecto que no se observa al diafanizar peces sanos, es muy probable que esta reacción se deba a la reacción de la glicerina con los metales pesados que están adheridos al esqueleto de los peces.

Una vez hechas las premisas a continuación, se presentan las descripciones de las deformaciones óseas en los peces y la presencia de metales pesados en forma de puntos negros en distintas zonas del cuerpo.

Hay que aclarar que en las primeras concentraciones de glicerina la cantidad de metales pesados fue más abundante y con la glicerina al 60% se comenzaron a limpiar el exceso de estos metales sobre todo los asociados a musculatura.

Con la finalidad de que quede más claros los conceptos y la determinación de las anomalías se presentan esquemas para que se observen los huesos como deben



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

de estar y como se encuentran en nuestros peces estudiados, también en algunos casos se seguirán mostrando las diferencias de manera comparada con los peces diafanizados que se obtuvieron del lago de Texcoco.

- **Espectrofotometría**

La espectrofotometría constituye un método de análisis óptico, esta consiste en medir la cantidad de energía radiante absorbida por las moléculas de una muestra en función de las longitudes de onda específicas.

Estos métodos están basados en la capacidad de las sustancias de absorber o emitir radiación electromagnética, y es por ello que este método es empleado para determinar la concentración de un reactivo o un producto durante una reacción (UNAM, 2019).

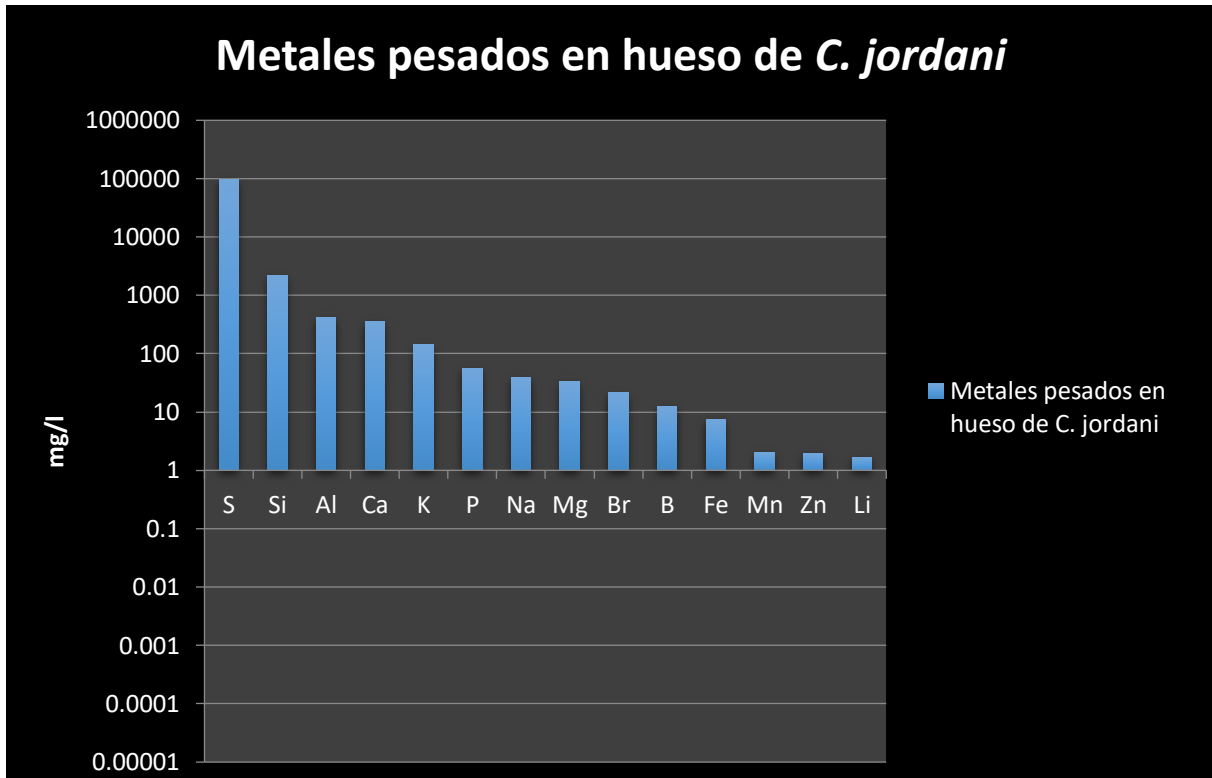
La espectrofotometría en los peces del lago de Chapultepec se realizó con ayuda del Laboratorio Nacional, en la Facultad de Estudios Superiores de Iztacala, con la invaluable ayuda del Dr. Cesar Mateo Flores y el Dr. Luis Barbo.

La espectrofotometría únicamente se realizó a los charales y los peces tiro, se analizó el músculo y el esqueleto de estos peces por cuadruplicado; cabe mencionar que la espectrofotometría se realizó para confirmar el supuesto de la bioacumulación de metales en zonas musculares y óseas de los organismos, así como también es importante mencionar que este análisis fue general, es decir se buscó conocer cuáles eran los metales presentes en los peces, así como la concentración en la que se encontraban.

Los resultados serán presentados en tres gráficas para músculo y tres gráficas para hueso de cada organismo, debido a que los metales se presentan en tres unidades distintas (mg/L, µg/L y ng/L); cabe mencionar que cada gráfica fue ajustada a una escala logarítmica base 10 para poder apreciar mejor los resultados; en la sección de Anexos (Anexo II) se presentan las tablas con los



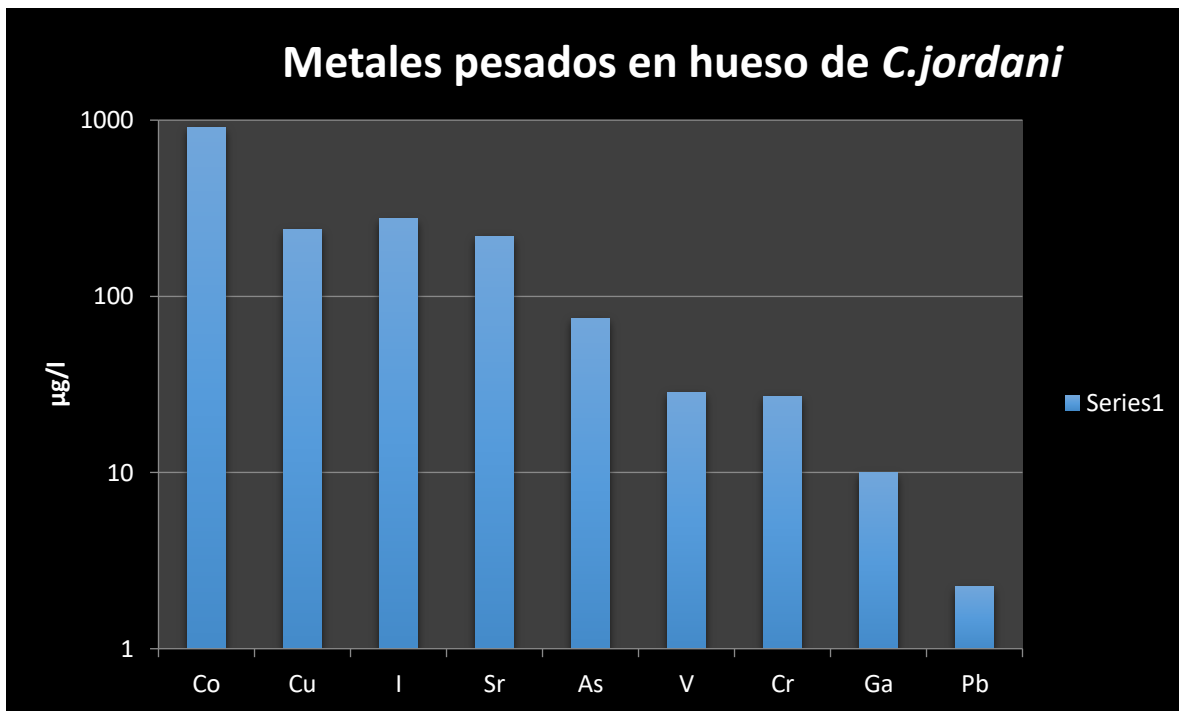
valores obtenidos para los metales analizados. Se iniciara con los charales y por último el pez tiro.



Grafica 1. Concentración de 14 metales pesados en (mg/L) presentes en huesos de los charales del Lago de Chapultepec.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la espectrofotometría se puede observar en las gráficas que los contaminantes presentes en el hueso de los organismos se encuentran en tres concentraciones distintas, como mencione con anterioridad es la razón de que se presenten así los resultados, en el Grafico 1 se puede observar que los metales pesados con mayor concentración son Azufre(S), Silicio (Si), Aluminio (Al),Magnesio (Mg), Bromo(Br), Boro (B),Hierro (Fe),Zinc(Zn) y Litio (Li), es importante mencionar que tanto como Calcio(Ca),Potasio (K),Fosforo (P) y Manganeso (Mn) fueron tomados en cuenta debido a que son importantes para otras funciones fisiológicas del organismo, así como también en el caso del Ca para concretar la idea de la descalcificación presente en los peces; en el caso de los otros metales es notable los altos niveles de S, Si, Al.

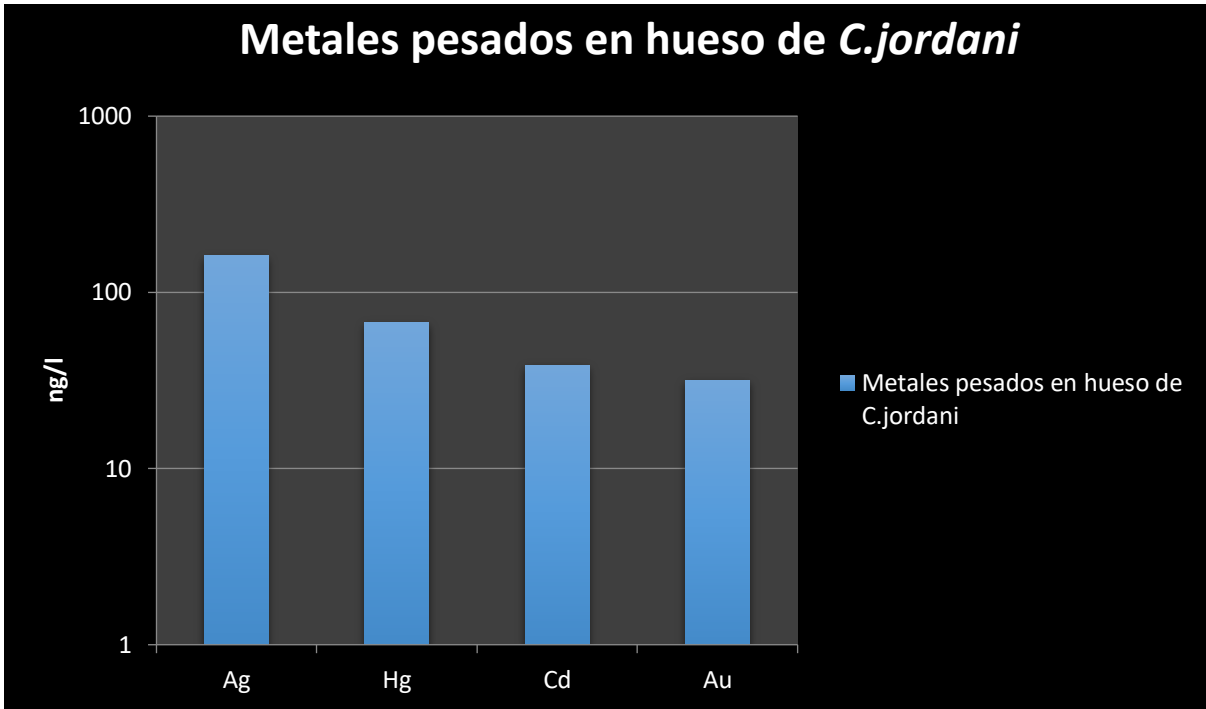




Grafica 2. Concentración de 10 metales pesados en ($\mu\text{g/L}$) presentes en hueso de *C.jordani*.

En el caso del grafico 2 podemos encontrar a algunos de los metales pesados comúnmente más estudiados como Cobalto (Co),Cobre (Cu),Yodo(I),Estroncio (Sr) y Arsénico (As), cabe mencionar que estos contaminantes se presentaron una concentración de $\mu\text{g/L}$, dentro de estos los que mayor concentración presentan son Co, Cu, I, y Sr, es importante recalcar que en los estudios revisando y mencionados con anterioridad el Co y Cu, son dos de los elementos mayormente estudiados y comunes también en los estudios, debido a que ambos son esenciales para el metabolismo.

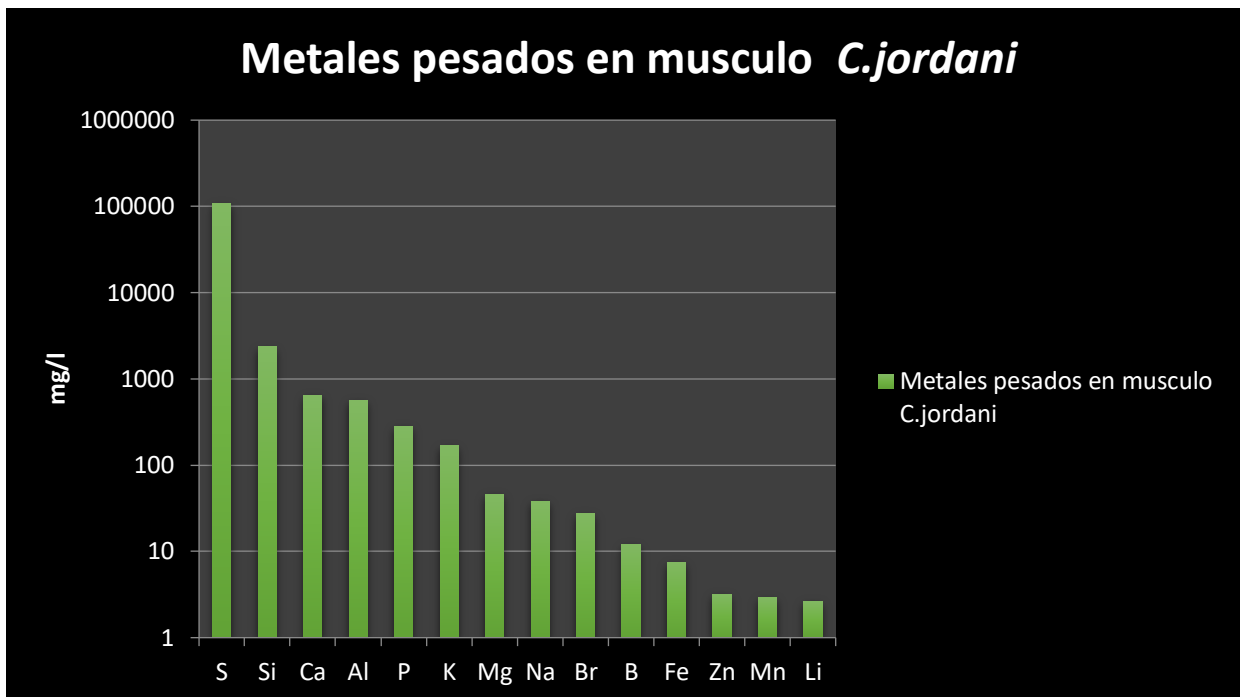




Grafica 3. Concentración de cuatro metales pesados en (ng/L) presentes en hueso de *C.jordani*.

En el grafico 3 únicamente se observa a cuatro metales, dentro de los cuales están Plata (Ag),mercurio(Hg), Cadmio (Cd) y Oro (Au), cabe mencionar que Hg y Cd son los de contaminantes comúnmente estudiados, pero de acuerdo a las concentraciones presentes en el hueso de los charales se presentan en una concentración baja debido a que se encuentran en ng/L, así como también es muy notable la presencia de Ag y Au, estos dos elementos no son reportados comúnmente, es por ello que estos dos elementos llaman mucho la atención, de igual manera su presencia es relevante pero la concentración que presentan es muy baja.

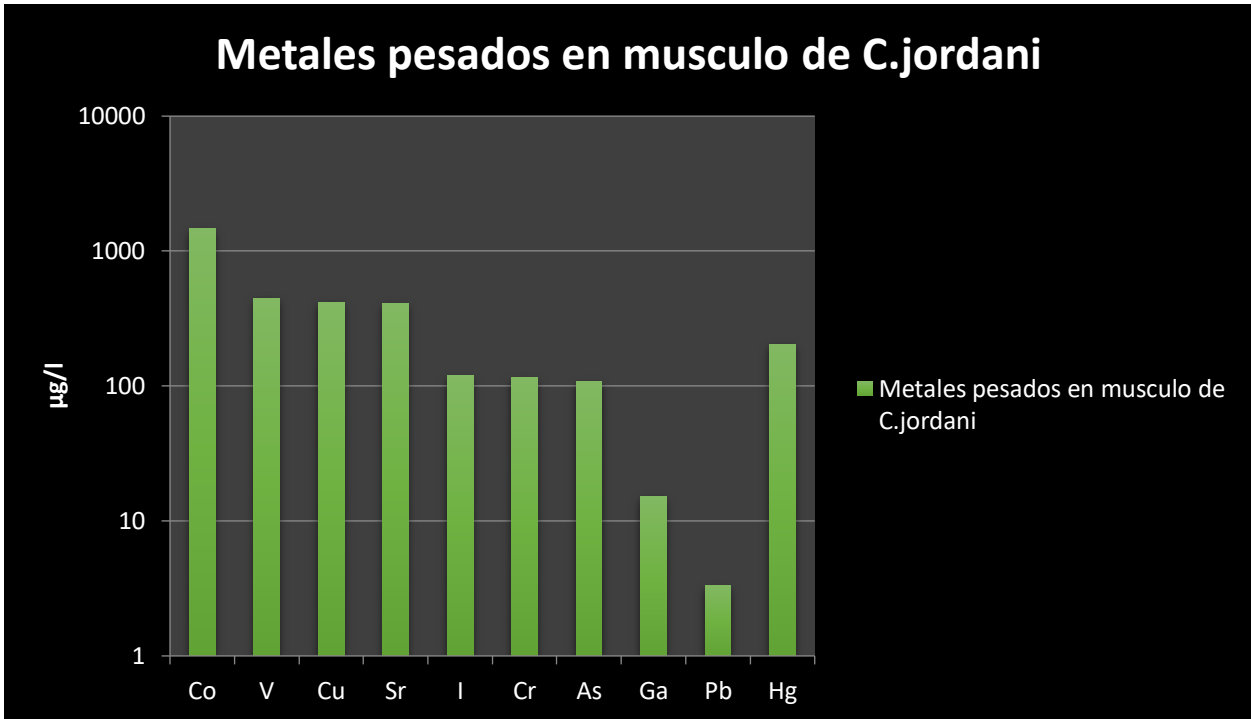




Grafica 4. Concentración de 14 metales pesados en (mg/L) presentes en músculo de *C.jordani*.

En la espectrofotometría realizada al tejido muscular de los charales se puede observar nuevamente que existen tres distintas concentraciones de los contaminantes, para iniciar en la gráfica 4 es notable nuevamente que al igual que en el hueso de los charales los elementos con mayor presencia son Azufre(S) y Silicio(Si); por otro lado es importante mencionar que también se presenta (Zinc)Zn y Manganeseo (Mn), siendo esto un punto más en común con los estudios realizados y ya mencionados con anterioridad, además es importante recalcar que estos dos últimos elementos también son vitales para el organismo.

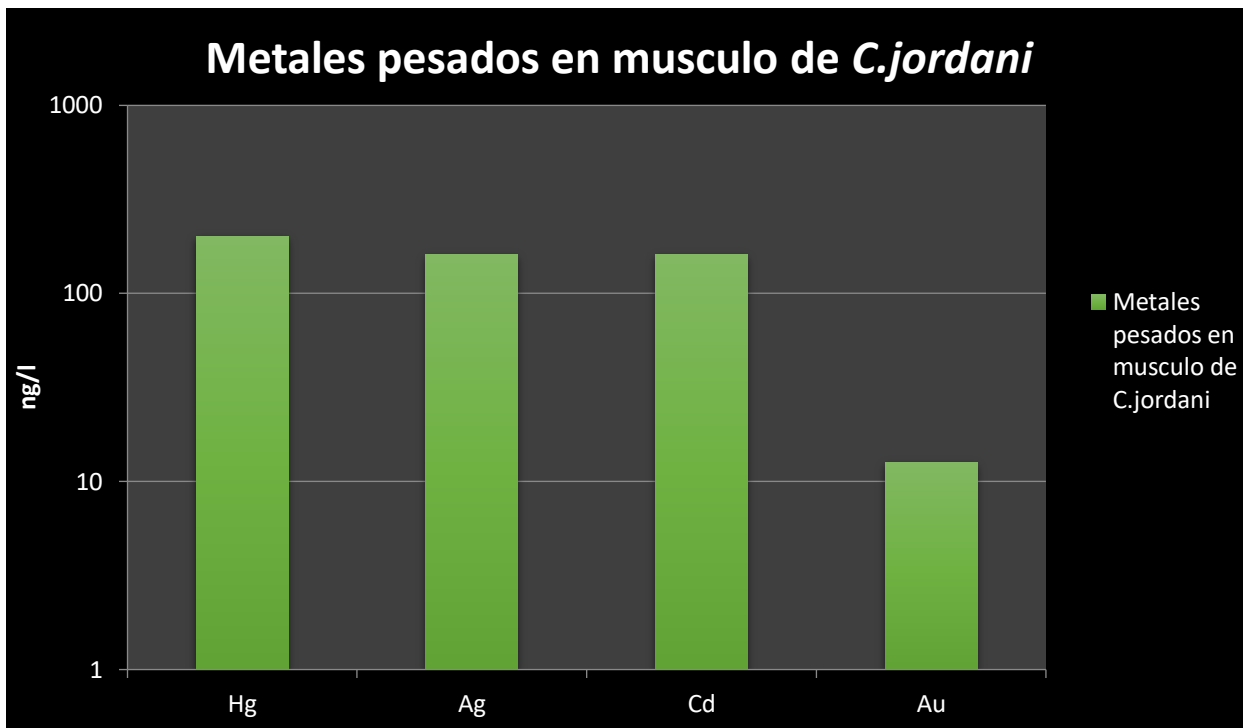




Grafica 5. Concentración de 10 metales pesados en ($\mu\text{g/L}$) presentes en musculo de *C.jordani*.

Por otro lado la gráfica 5 presenta nuevamente la concentración de ($\mu\text{g/L}$), en ésta es posible apreciar que los elementos con mayor presencia son Co, seguido de V, Cu y Sr, así como también es visible que en este caso el Pb se encuentra en una muy baja concentración en comparación con los demás, este elemento es relevante al igual que todos los demás pero de acuerdo a la gran parte de la literatura revisada junto con el Cd constituyen los contaminantes más estudiados.



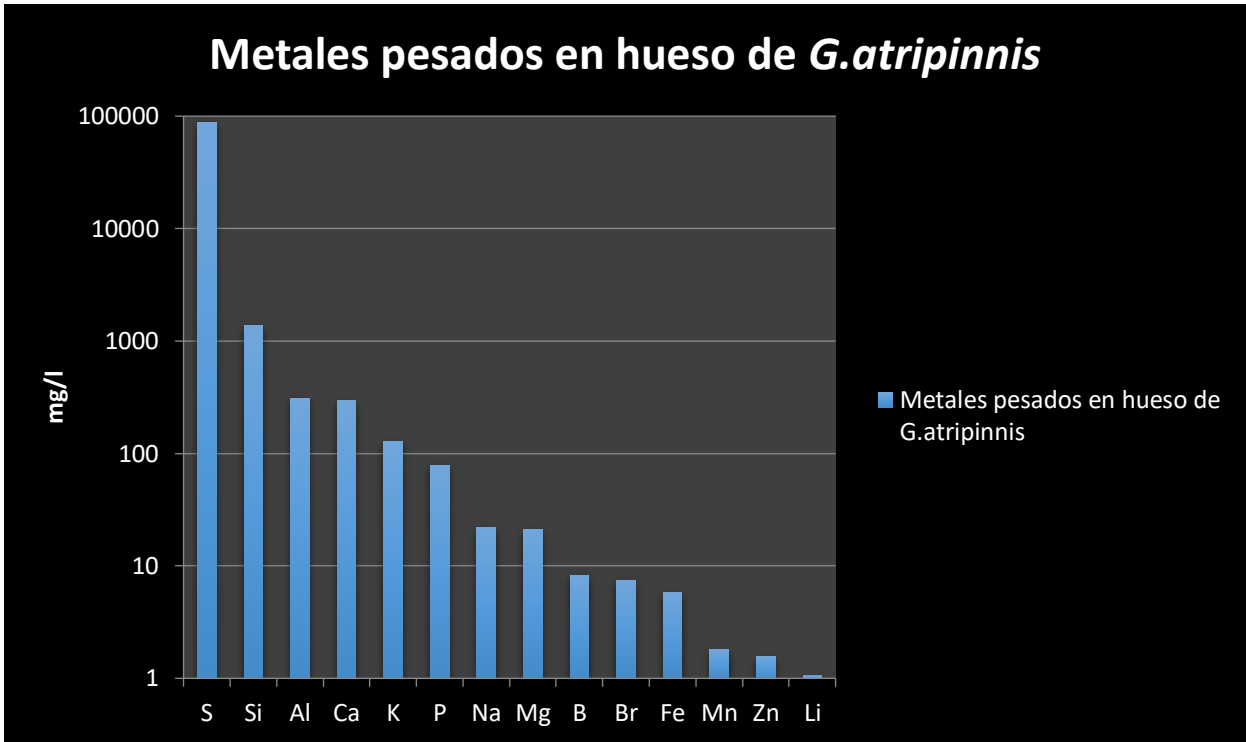


Grafica 6. Concentración de 4 metales pesados en (ng/L) presentes en musculo de *C.jordani*.

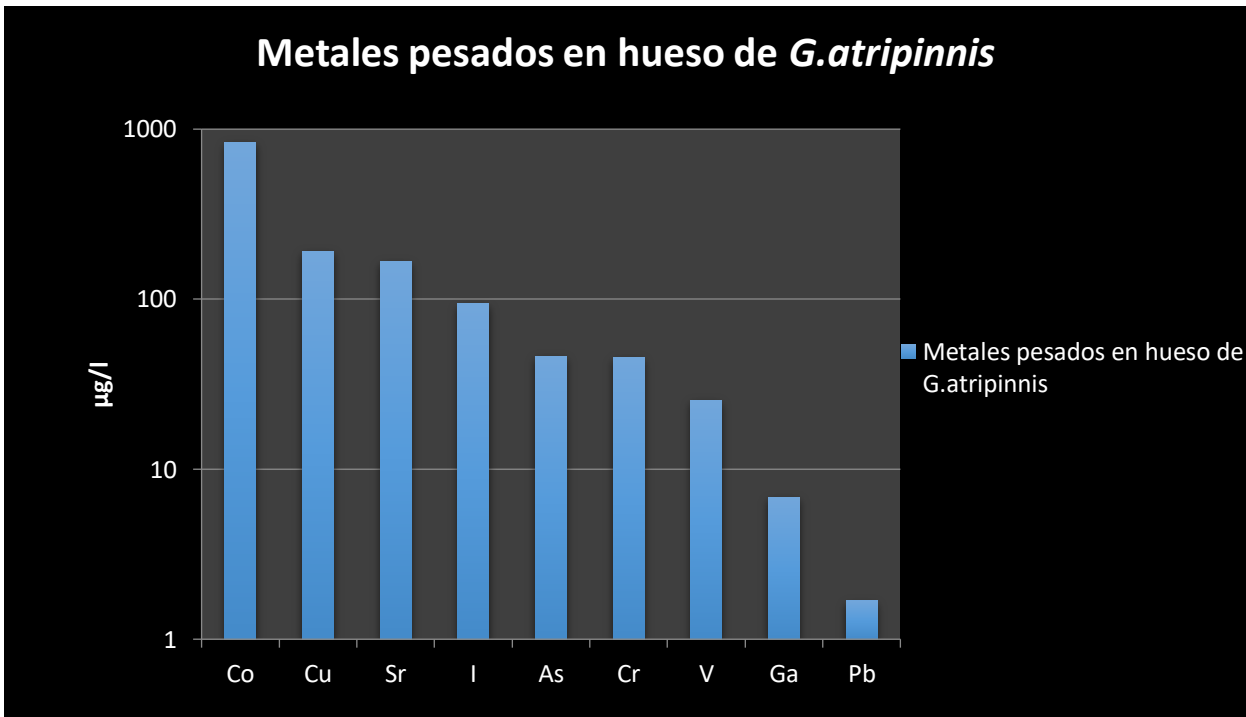
Para el grafico 6 de igual manera es importante recalcar la presencia de Ag y Au, siendo este último el que menor presencia tiene, por otro lado es importante mencionar también la elevada presencia de Mercurio (Hg) y Cadmio(Cd), que como es bien sabido son metales muy tóxicos para los organismos.

De igual manera los resultados de la espectrofotometría en *G. atripinnis* serán presentados en el siguiente orden, primero se inicia con los resultados en los huesos y después en el musculo, de inicio en la gráfica 8 es notable nuevamente la dominancia del S, seguido del Si y de Al, así como también es muy notable que en este caso los niveles de Li se encuentran muy bajos.





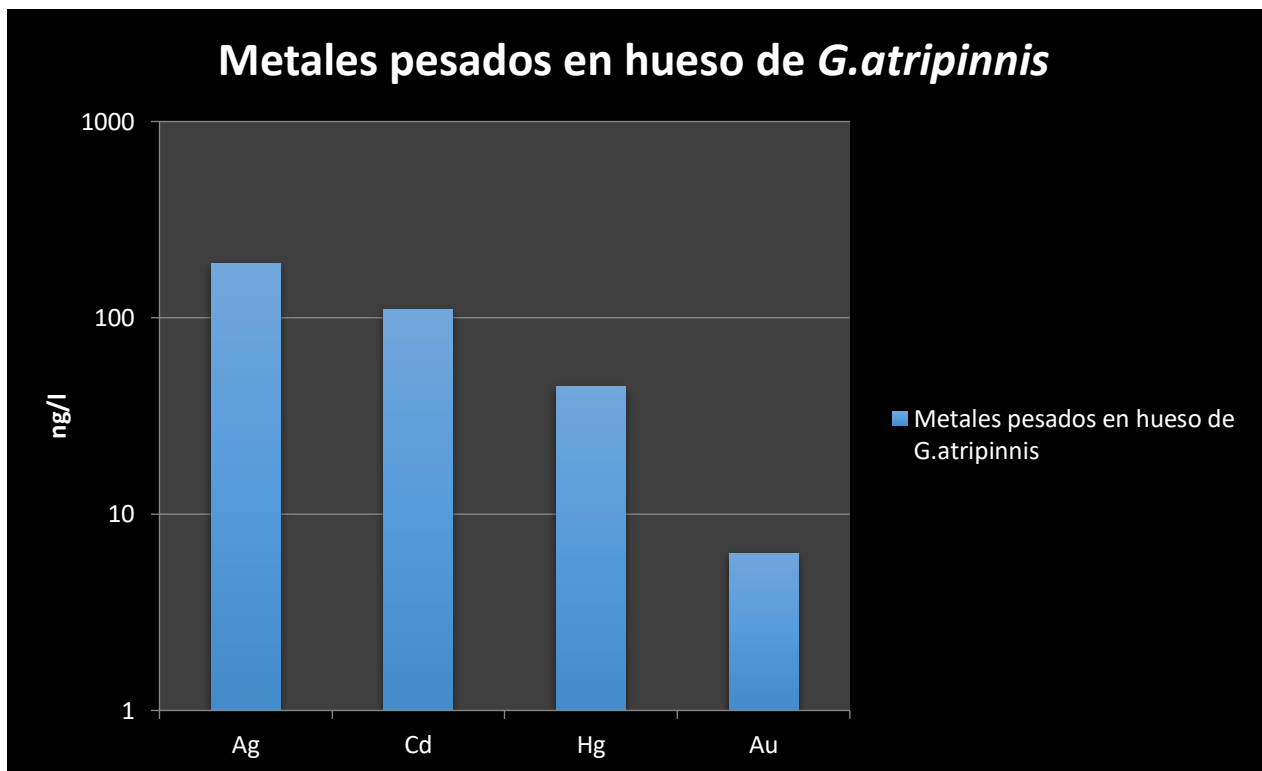
Grafica 8. Concentración de metales pesados en (mg/L) presentes en hueso de *G.atrippinis*.



Grafica 9. Concentración de metales pesados en (µg/L) presentes en hueso de *C.jordani*



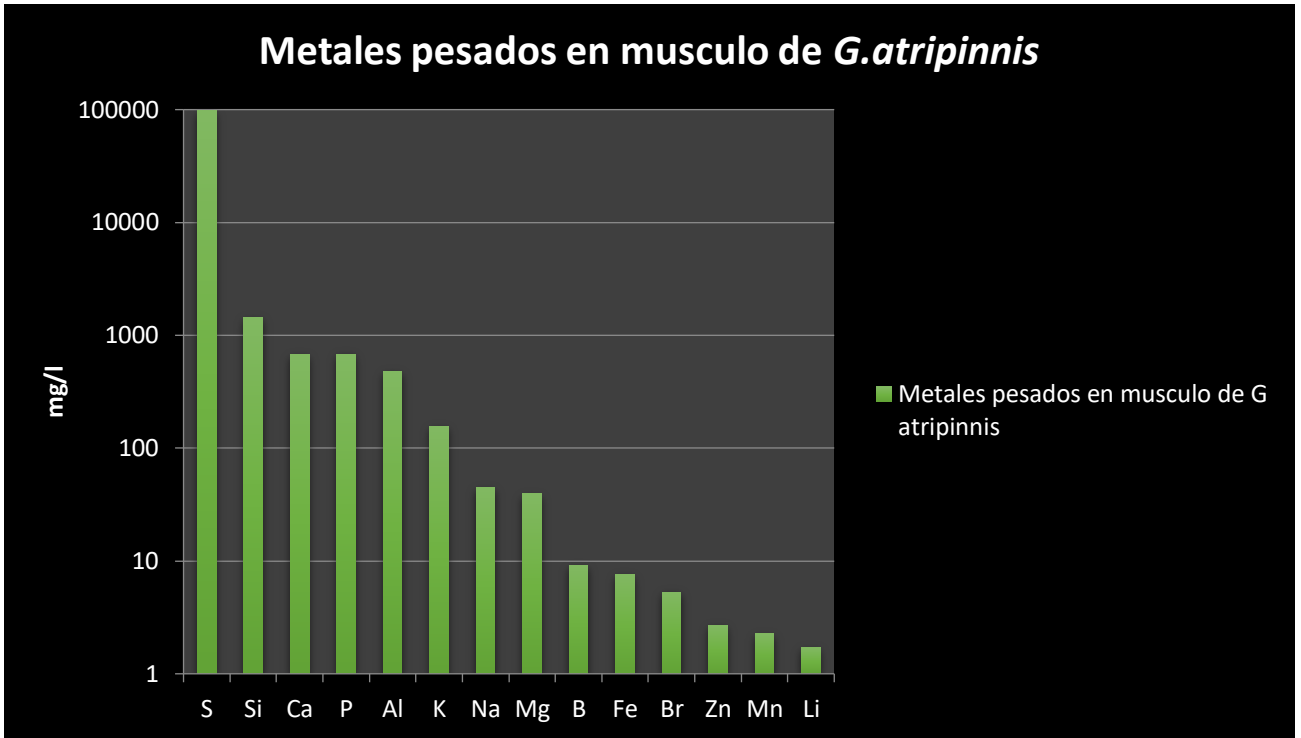
En la gráfica 9 es notable que el Co es el elemento con mayor presencia, así como también nuevamente el Pb se encuentra presente pero en una concentración baja.



Gráfica 10. Concentración de metales pesados en (ng/L) presentes en hueso de *G. atripinnis*.

En el caso de la gráfica 10 es notable nuevamente la presencia de Ag y Au, siendo la plata (Ag) el elemento dominante para este grupo y siendo repetitivamente el Au el menor.

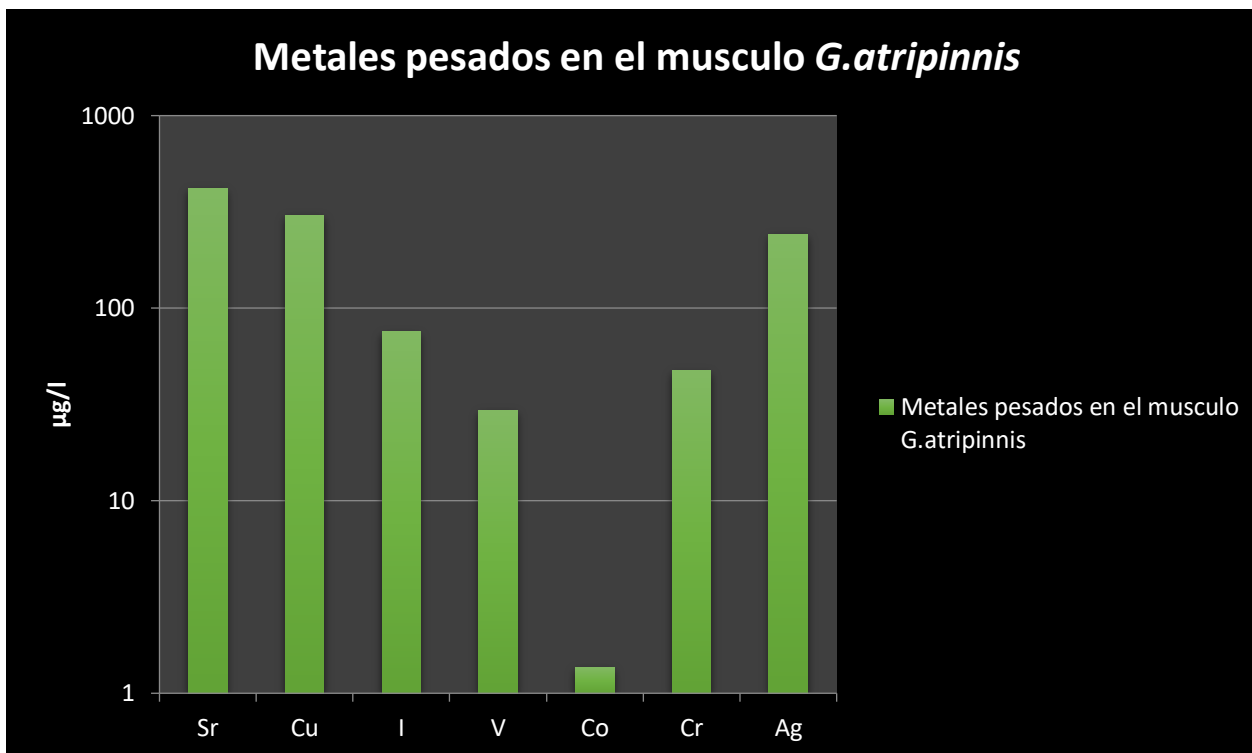




Grafica 11. Concentración de metales pesados en (mg/L) presentes en musculo de *G.atripinnis*

El grafico 11 es nuevamente observable que el elemento con mayor presencias es el S, seguido nuevamente por Si, como se ha observado estos dos elementos se han presentado con esa misma tendencia tanto para musculo y hueso en los dos organismos, siendo esto de vital importancia para el estudio, así como también es notable que en el caso de Zn y Mn los niveles se mantiene bajos.

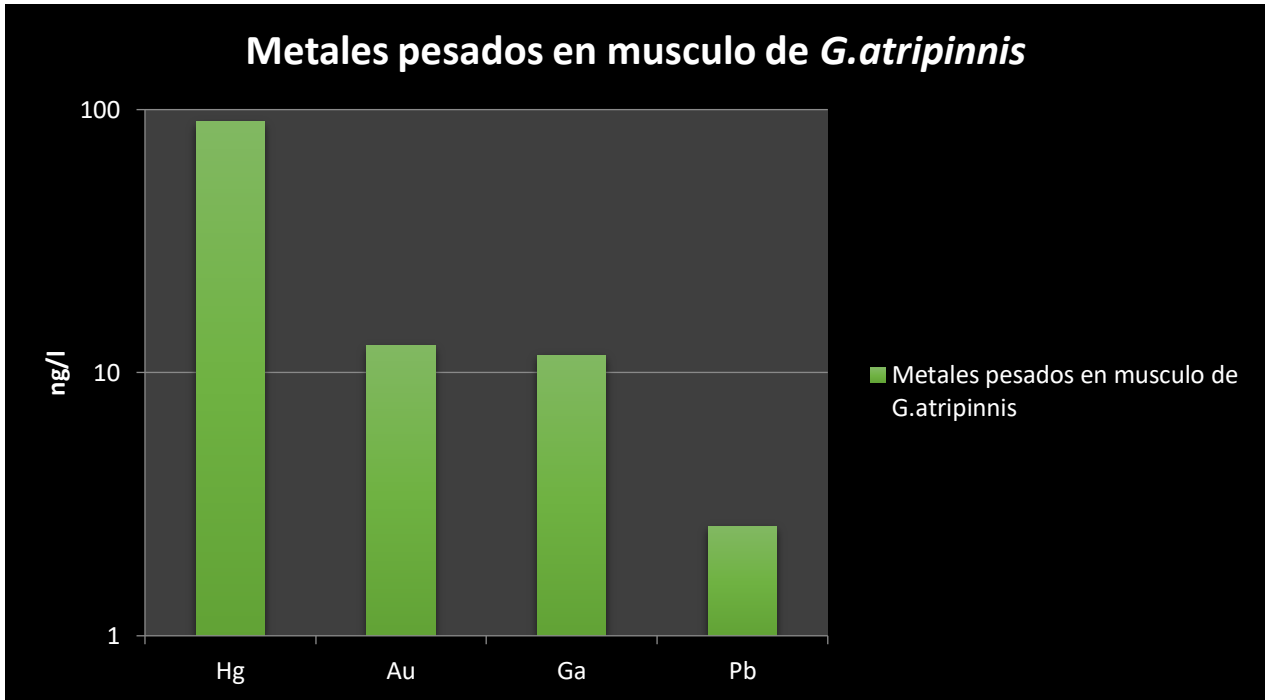




Grafica 12. Concentración de metales pesados en ($\mu\text{g/L}$) presentes en músculo de *G. atripinnis*

En la gráfica 12 podemos observar que el Sr es el elemento con mayor presencia, esto es importante debido a que en los gráficos anteriores el elemento con mayor presencia era el Co, totalmente contrario a lo que se presenta en el músculo de *G. atripinnis* debido a que aquí este elemento es el que presenta la concentración más baja y otro aspecto relevante es que en este caso Ag ha aumentado su concentración, si recordamos en los gráficos anteriores Ag se había mantenido en una concentración de ng/L y ahora en el músculo del pez tiro paso de ng/L a $\mu\text{g/L}$.





Grafica 13. Concentración de metales pesados en (ng/L) presentes en musculo de *G.atrippinnis*.

Para la gráfica 13 podemos localizar nuevamente a Hg, Au, Ga y Pb, siendo este último el que menor presencia tiene en el musculo del organismo, otro aspecto importante es que en los gráficos anteriores Ga se presentaba normalmente en una concentración de $\mu\text{g/L}$, pero en el musculo de este organismo se encuentra en una concentración más baja.

- Descripción.

A continuación se procederá con la descripción de las tres especies de peces, en primer lugar se encontraran los charales, seguido de los Mexcalpiques y por último el pez tiro, se iniciara con el cráneo en la vista dorsal, ventral y lateral posteriormente se describirá la columna vertebral en las mismas vistas, se continuara con las aletas dorsal, pectoral, pélvica y caudal y finalizando con la descripción de las escamas.



Cráneo

El cráneo se divide en neurocráneo (bóveda craneana), dermatocráneo (rostro) y esplanocráneo (mandíbula). En el neurocráneo están los huesos etmoides (medio y laterales), los frontales (derecho e izquierdo), los parietales (derecho e izquierdo) el epioccipital y el supra occipital.

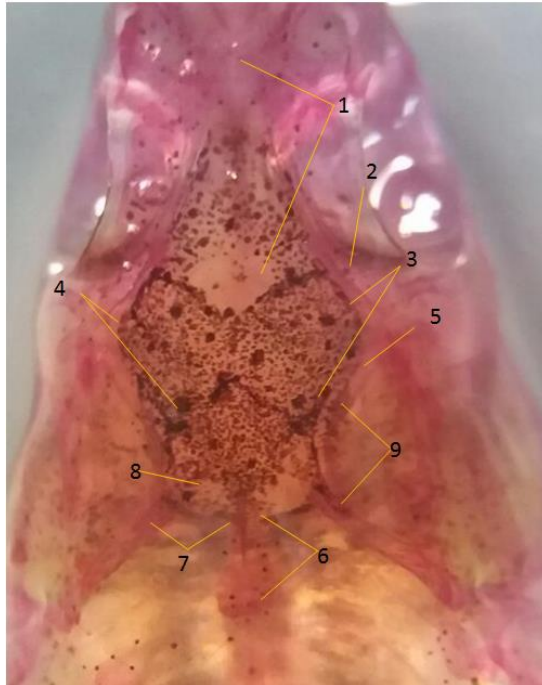


Figura 8: Huesos del cráneo en vista dorsal; 1 (Etmoides medio), 2 (Etmoides lateral), 3 (Frontal derecho), 4 (Frontal izquierdo), 5 (Esfenótico), 6 (Supraoccipital), 7 (Epioccipital), 8 (Parietal), 9 (Ptereótico).

Normalmente se encuentran demarcados por las suturas y cisuras propias del cráneo, sin embargo, en el caso de los charales se encuentran muy impregnados con metales pesados haciendo que el delineado sea negro y punteado, principalmente en el área de los frontales (Figura 7 A, B Y C).

En este caso presentamos la primera deformación ósea, se encuentra en los huesos etmoides medios y laterales, en los peces sanos el etmoides medio se encuentra alargado y separando los huesos de las orbitas de los ojos se dirige hacia los nasales, en los peces de Chapultepec, la mayoría presentan un



achatamiento de los etmoides y un adelgazamiento del hueso, haciendo que los ojos se acerquen más entre ellos y cambiando la dirección de los huesos orbitales (Figura 7 A, B Y C).

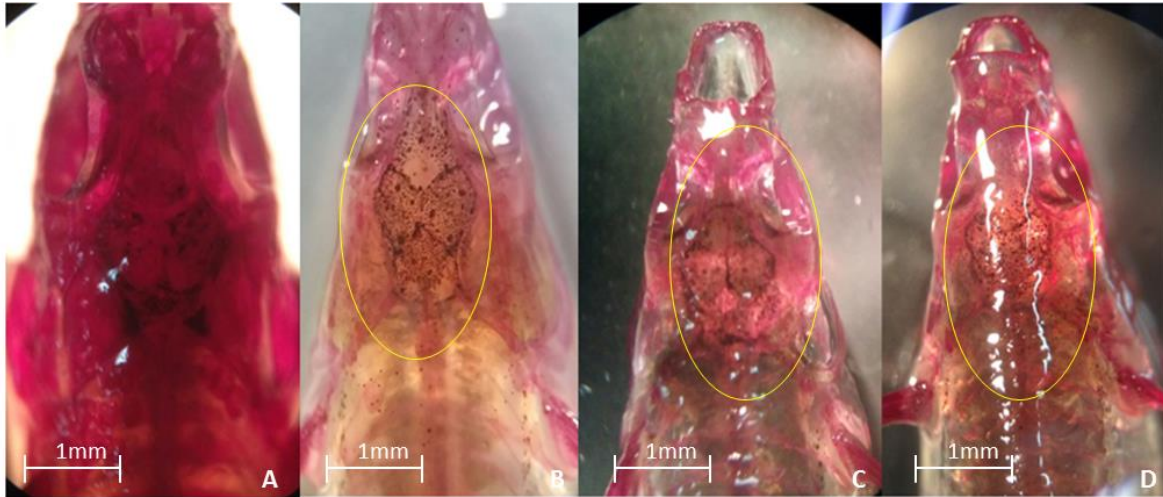


Figura 9: Cráneo en vista dorsal de *C. Jordani*, las zonas con mayor acumulación se muestran remarcadas en los huesos supraoccipitales, se puede observar que en la imagen A el cráneo se presenta un poco más limpio de los contaminantes y la forma normal del cráneo se observa con claridad, este ejemplar fue tomado de un criadero, para B, C, y D se observa como la anatomía del cráneo varía y así como también la cantidad de contaminantes sobre este.

La concentración de metales en el cráneo es visible generándose un patrón constante en todos los peces estudiados.

En el caso de la imagen B, se puede observar que el etmoides medio esta ancho y acortado, es notable también que los etmoides laterales, se encuentran reducidos, en el caso de los canales sensoriales que van del nasal al etmoides lateral, no son visibles, el hueso frontal derecho e izquierdo se encuentran completamente reducidos, el hueso pteriotico y el esfenótico no están bien definidos y no se observan.

El hueso parietal no se encuentra definido, el hueso epioccipital y el supra occipital se pueden observar reducidos.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

En el caso de **C**, el etmoides medio se encuentra alargado y ensanchado, así mismo es notable la reducción de los etmoides laterales, en el caso de los huesos frontales derecho e izquierdo se encuentran ensanchados y achatados.

Esta deformación puede provocar una segunda que es el achatamiento de la parte maxilar de los peces haciendo que la boca se les haga de cuchara pues se extiende más la parte mandibular que la maxilar. Esta deformación se puede observar mejor en la vista dorsal, que presentamos en la (Figura 7).

En el caso de los Mexcalpiques se encontró lo siguiente:

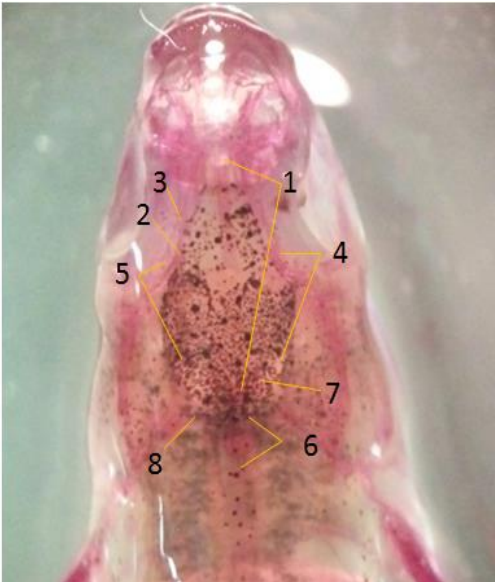
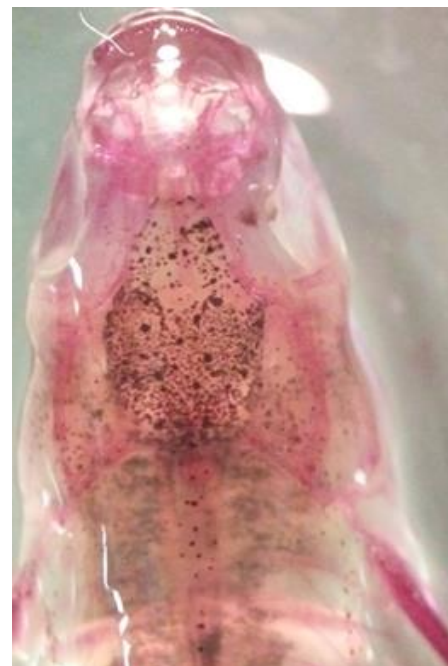


Figura 10 Huesos del cráneo del Mexcalpiques, 1(etmoides medio), 2 (etmoides lateral), 3 (canal sensorial), 4 (frontal derecho), 5 (frontal izquierdo), 6 (supraoccipital), 7 (parietal), 8 (epioccipital). Vista dorsal del cráneo. Un patrón muy similar al de los charales con respecto a la acumulación de metales en el condrocraqueo.

Figura 11. Cráneo de *G. viviparus* en vista dorsal; 1 (Etmoides medio), 2 (Etmoides lateral), 3 (Frontal derecho), 4 (Frontal izquierdo), 5 (Esfenótico), 6 (Supraoccipital), 7 (Epioccipital), 8 (arietal), 9 (Ptereótico). Podemos observar un alargamiento del etmoides medio y un ensanchamiento de los supraoculares



Es visible que en los huesos del cráneo existen ciertas deformaciones, la primera observación, el etmoides medio se encuentra alargado y acortado, por otro lado los frontales se encuentran totalmente reducidos y cubiertos en su totalidad por los metales pesados, y por ello casi no son visibles, las cavidades oculares ocupan mucho espacio del cráneo, por otro lado el canal sensorial se ve interrumpido, este debería continuarse hasta el frontal izquierdo, pero no es así, se encuentra interrumpido hasta el término del etmoides lateral, en el caso de los parietales no son visibles debido a que se encuentran totalmente cubiertos, el hueso supra occipital y el epioccipital se encuentran acortados y reducidos.

Otro aspecto notable es la coloración tenue, además de ser nuevamente una de las zonas con mayor acumulación de los metales pesados.

En el pez tiro se pueden observar el cráneo en vista dorsal de la siguiente manera:

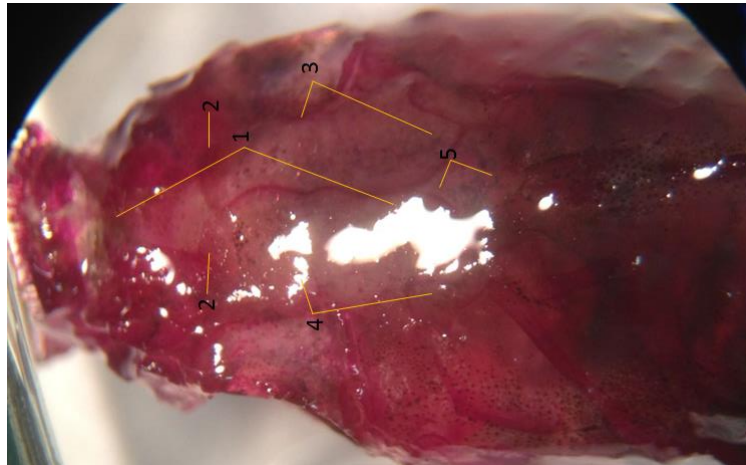


Figura 12: Huesos del cráneo del pez tiro: 1(etmoides medio), 2 (etmoides lateral), 3 (frontal derecho), 4 (frontal izquierdo), 5 (supra occipital) . Vista dorsal del cráneo. No se observa una concentración grande los metales como en los charales y los Mexcalpiques.

En la figura # se pueden observar varias imágenes en vista dorsal del cráneo y son notables las anomalías presentes en el neurocraneo de estos organismos, el



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

primer organismos presenta un cráneo delgado, casi descalcificado, con las suturas muy marcadas.

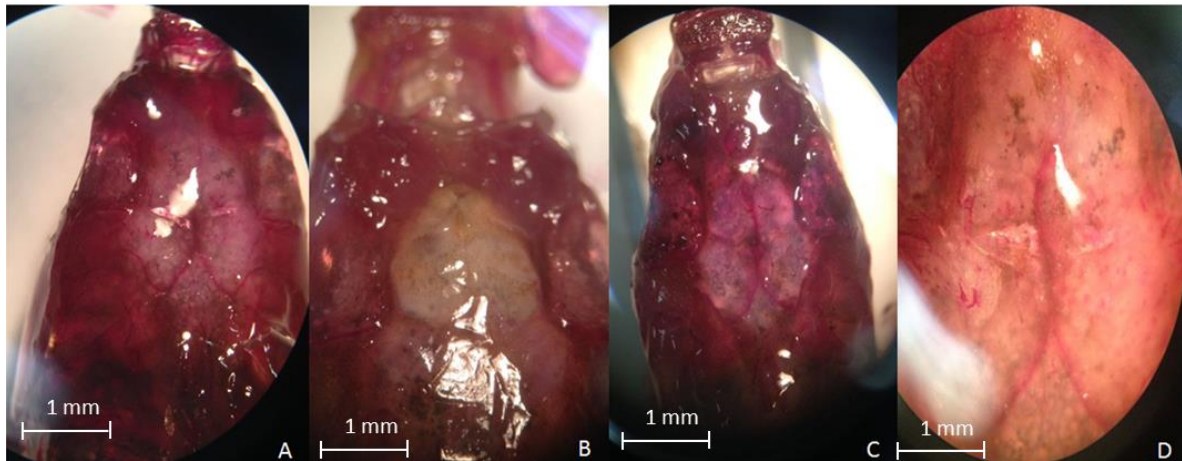


Figura13 : Cráneo de *G. atripinnis* en vista dorsal

Dicha inflamación rojiza en las suturas del cerebro se deben a que en estos organismos existan parásitos, los cuales se encuentran fijos en el cerebro, en la sección de los resultados se añadió una parte de un análisis de parásitos para *C. jordani* y *G. viviparus*, los cuales dieron positivo a la presencia de un adulto de *Schyzocotyle acheilognathi* y una larva de cestodo perteneciente a la familia Gryporhynchidae, permitiendo así suponer que estos organismos también se encuentran parasitados.

Otro detalle que presentan es el ensanchamiento del cráneo, es decir los huesos etmoides medios se encuentran reducidos dorso ventralmente y acortados, incluso no es posible observar donde termina el hueso, los etmoides laterales se observan abombados y acortados, el canal sensorial tampoco es visible en ninguno de los casos, los huesos frontales tanto derecho como izquierdo se observan ensanchados y abombados, además es muy notable que la mayor parte del cráneo es ocupada por estos dos huesos, los parietales se encuentran totalmente reducidos y el hueso supra occipital se observa ensanchado y acortado; el cráneo de estos organismos fue una de las primeras estructuras en teñirse en el proceso de diafanización, es notable también la coloración que presentan, con base en



esto podemos inferir que si bien están osificados los huesos del neurocraneo se encuentran adelgazados, otro aspecto que llama nuestra atención es que en esta zona del cráneo no cuentan con bioacumulación de metales pesados a simple vista, ya que si recordamos en las otras dos especies, *C. jordani* y *G. viviparus* esta fue una de las zonas con mayor acumulación

En la vista ventral de los organismos se observó lo siguiente: en el caso de los charales, se encontró de esta manera.

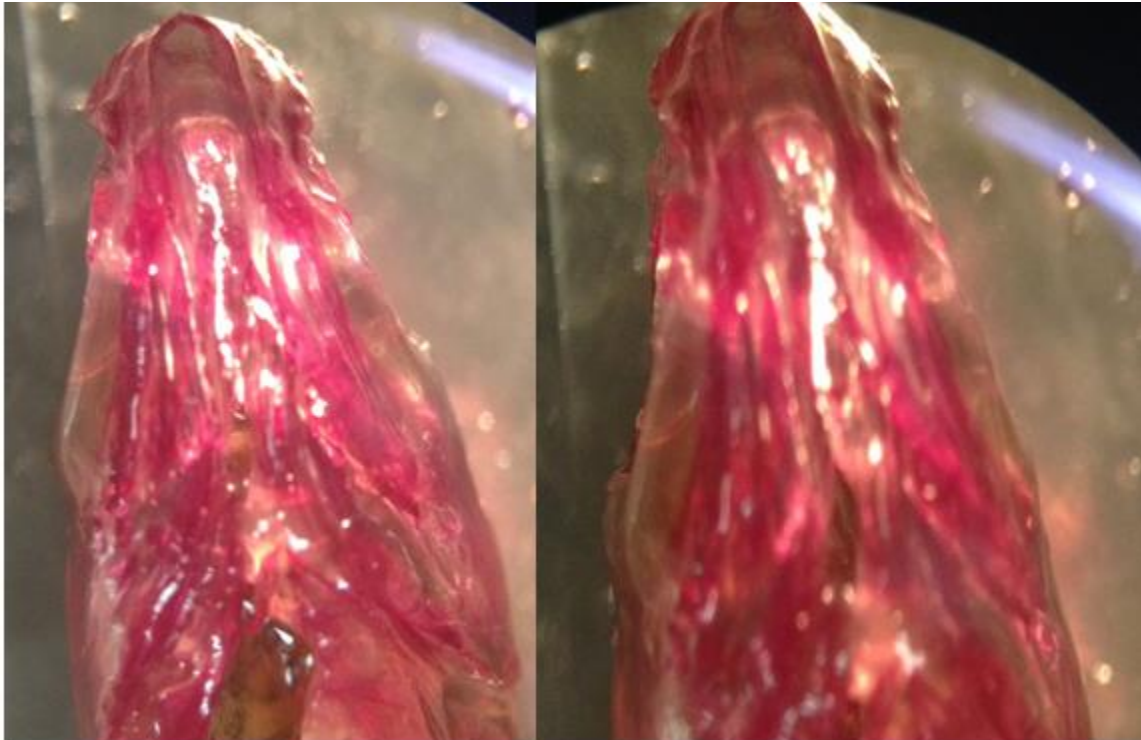


Figura 14. Cráneo del charal, en vista ventral, se observan los arcos branquiales muy cercanos unos de otros reduciendo su capacidad de captación de oxígeno.

El ensanchamiento anormal del dentario, está implicado por el empuje de los arcos branquiales, los cuales se localizan en una posición más adelantada de lo normal, hace que la mandíbula se desplace hacia arriba, cambiando el tipo de boca de estos animales, lo normal en la posición de la boca para los charales es



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

encontrarla terminal y en este caso la posición cambia a superior, quizás por esta razón mucho de los metales pesados se depositen en esta zona.

Y en los Mexcalpiques el cráneo en vista ventral se observa de la siguiente manera:

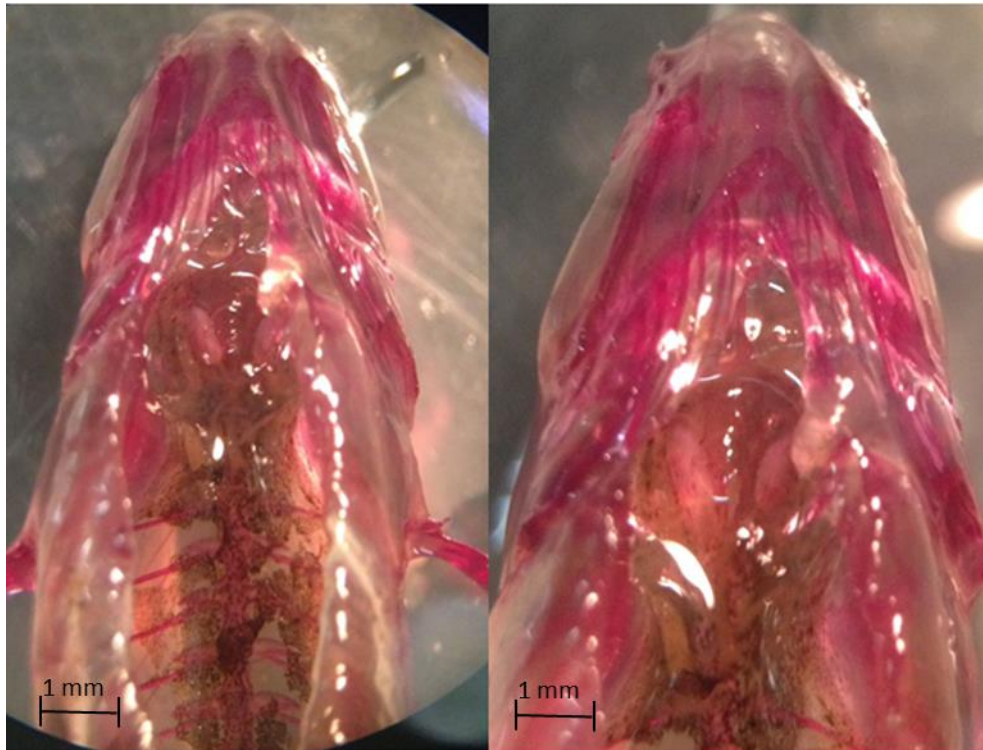


Figura 15. Cráneo de *G. viviparus* en vista ventral. Se observan los arcos branquiales muy cercanos y delgados, reduciendo su capacidad de captación de oxígeno. En esta imagen se puede observar la capa de metales pesados asociados a esta región branquial y a la columna vertebral.

Se pueden observar los rastrillos branquiales y el maxilar, los rastrillos se muestran coloreados de un tono más oscuro pero nuevamente se observa que la coloración más intensa se da en los bordes del hueso dejando al centro del hueso una apariencia transparente.

En el caso de *G. atripinnis* la vista ventral del cráneo presenta lo siguiente:



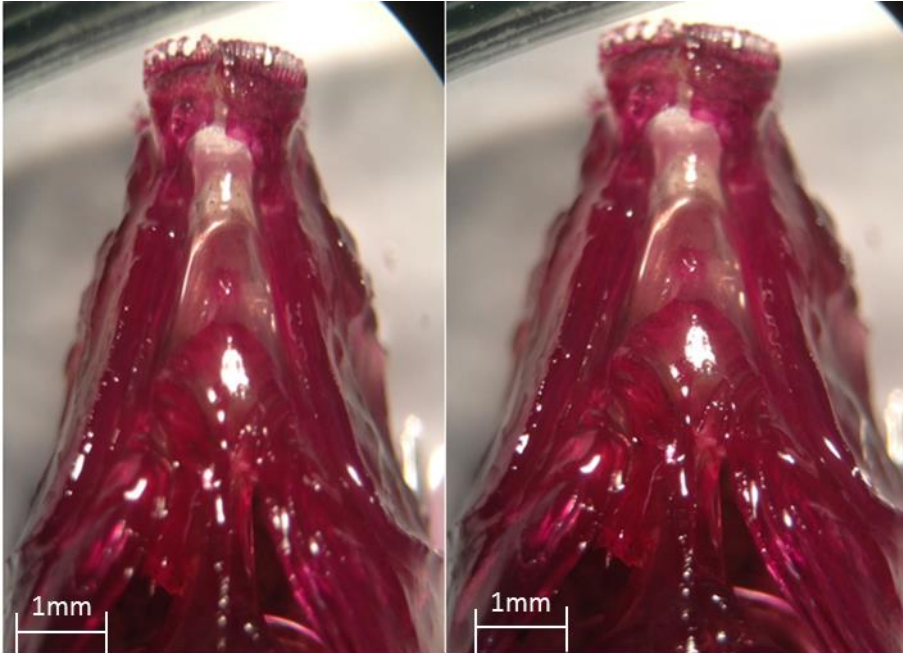


Figura 16: Cráneo de *G. atripinnis* en vista ventral.

En la figura # se puede observar una vista ventral del esplanocráneo donde es visible la presencia de un buen dentario propio de estas especie, podemos notar que los arcos branquiales se encuentran en la parte posterior del dentario, su tamaño es realmente proporcional al cuerpo, es visible también la coloración morada-rojiza presente en estos organismos.

En la figura # podemos observar las vista lateral de *G. atripinnis*, esta es la única vista donde se puede notar a simple vista la bioacumulacion de metales pesados asociados hacia los huesos angular y opercular, así como en los supra orbitales, esto llama mucho la atención, debido a que en los otros grupos de peces la hipótesis es que la bioacumulacion comienza por las fosas nasales y en el caso de los goodeidos por boca. En estos organismos la boca se presenta en posición terminal.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

En la vista lateral de los organismos se observa lo siguiente:

Para los charales se presenta el diagrama correspondiente a esta vista, seguida de vista lateral derecha e izquierda de los organismos.

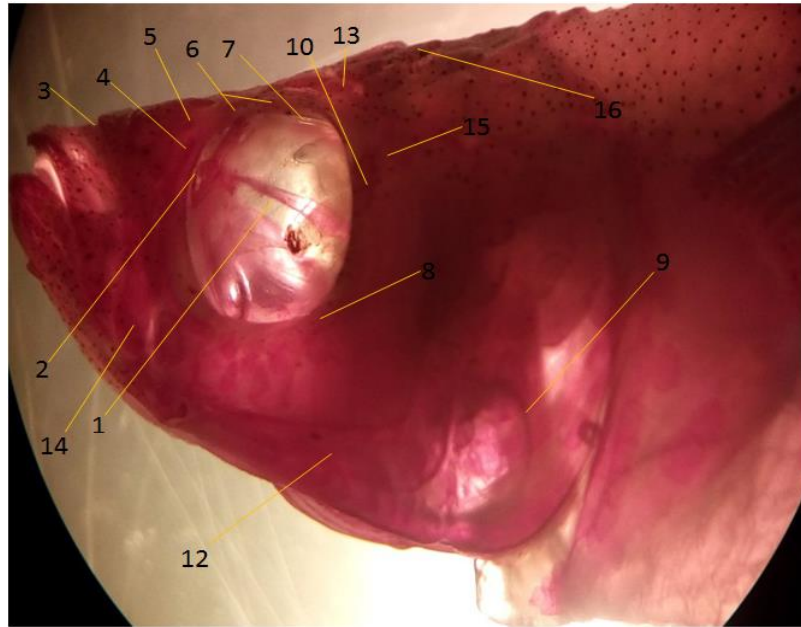


Figura 17. Huesos del cráneo del charal (*C.jordanii*): 1 (para esfenoides), 2 (frontal), 3 (premaxilar), 4 (nasal), 5 (dermoetmoides), 6 (supraorbitales), 7 (orbitoesfenoides), 8 (serie de circumorbitarios), 9 (maxilar), 10 (dermoesfenotico), 12 (preopercular), 13 (frontal), 14 (maxilar), 15 (estenótico), 16 (supra occipital). Se puede observar en el lomo del charal el salpullido de los metales pesados fijados a la musculatura del pez.



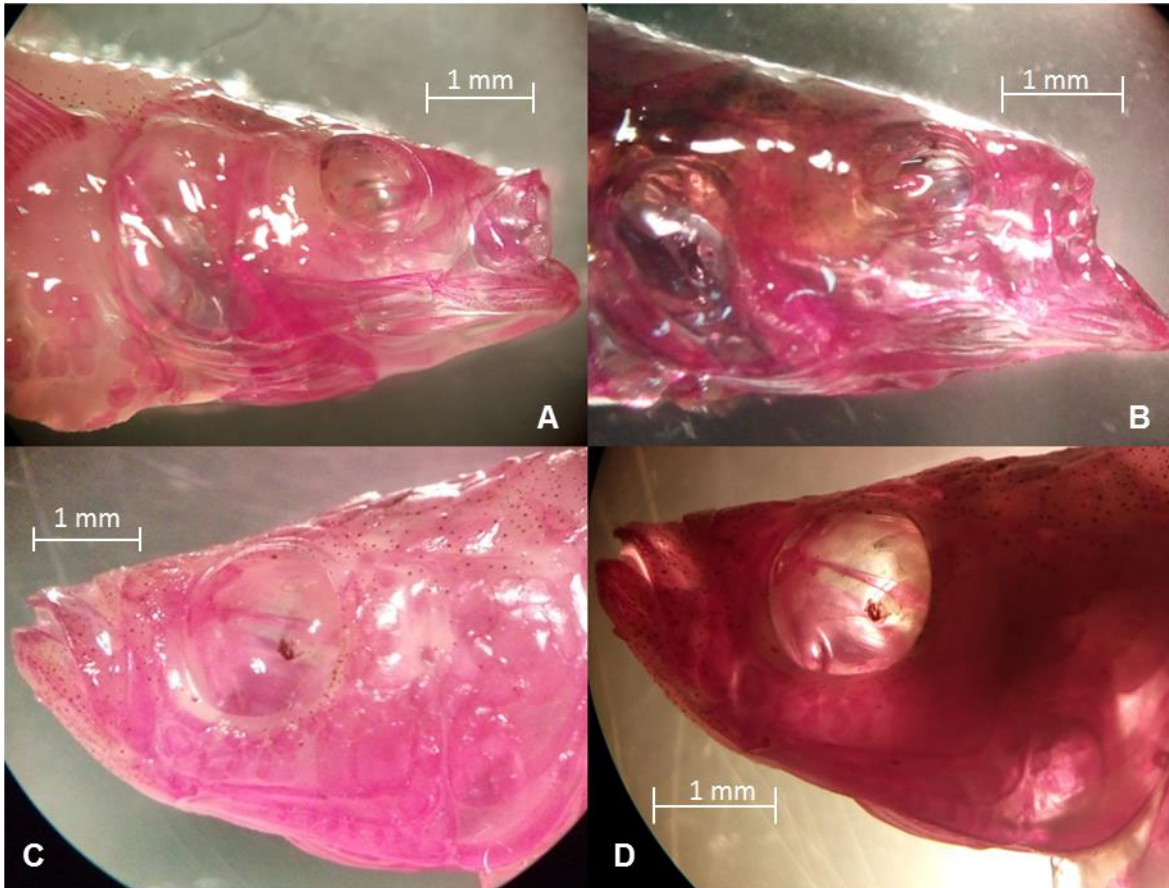


Figura 18 : Cráneo de Charales en vista lateral derecha (A y B) y lateral izquierda(C y D), las zonas de mayor acumulación en C y D se encuentran remarcadas, presentando la mayor zona de acumulación el hueso frontal y el supra occipital, así como las regiones del maxilar y pre maxilar. También se puede observar en B, C y D, la elevación de los huesos maxilares formando una boca en posición superior y no terminal.

Cómo se puede observar en la Figura 8, las zonas de la región de la boca (esplacocráneo), el condrocráneo (bóveda craneana), se encuentran muchos puntos negros o cafés oscuros (parecido a un salpullido), esta es la presencia de metales pesados, adheridos a los músculos y huesos del cráneo de los charales ,los cráneos son observados en vista lateral derecha (A y B) e izquierda (C y D); en A y B, podemos observar que el huesos supra occipital se encuentra reducido, el hueso parietal y frontal no se distinguen, el pteroesfenoides, no es observable, el orbito esfenoides, se observa alargado, el rinoesfenoides se presenta acortado y achatado, siendo esto claramente una modificación en la estructura del cráneo de los peces.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Los mexcalpiques presentan la vista lateral de igual manera, de primera instancia el diagrama correspondiente, seguido de las vistas lateral derecha e izquierda en los organismos

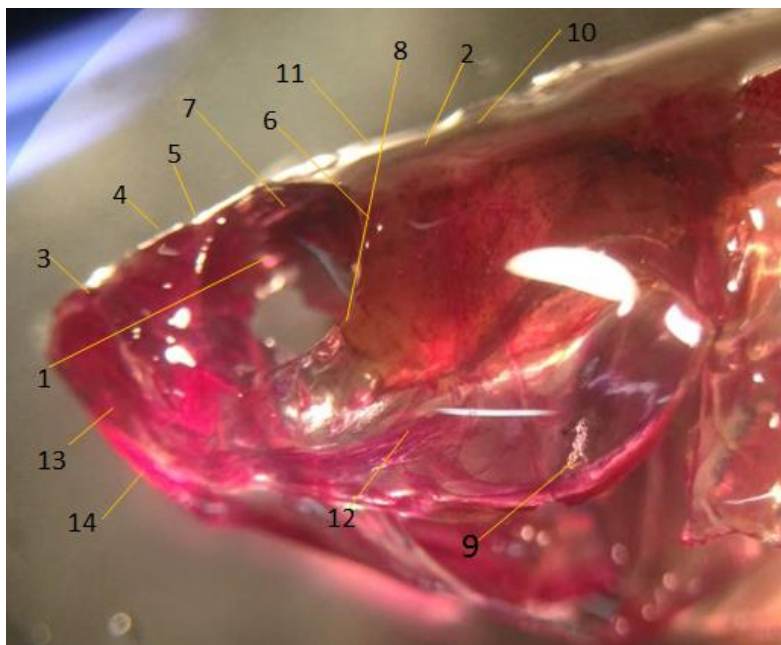


Figura 19: Hueso del cráneo del Mexcalpique en vista lateral izquierda : 1 (para esfenoideas), 2 (parietal), 3(pre maxilar), 4 (nasal), 5 (dermoetmoides), 6 (dermoesfenótico), 7 (orbito esfenoideas), 8 (serie de circumorbitarios), 9 (opercular), 10(supra occipital), 11 (frontal), 12 (preopercular), 13 (dentario) y 14 (maxilar). Vista lateral izquierda. Hay dos deformaciones en los huesos orbitales, primero el hueso para esfenoideas se encuentra en posición diagonal cuando debiera estar en posición horizontal, hay una mayor profundidad en los oculares, y un adelgazamiento notorio en el opercular y preopercular.

diagonal cuando debiera estar en posición horizontal, hay una mayor profundidad en los oculares, y un adelgazamiento notorio en el opercular y preopercular.

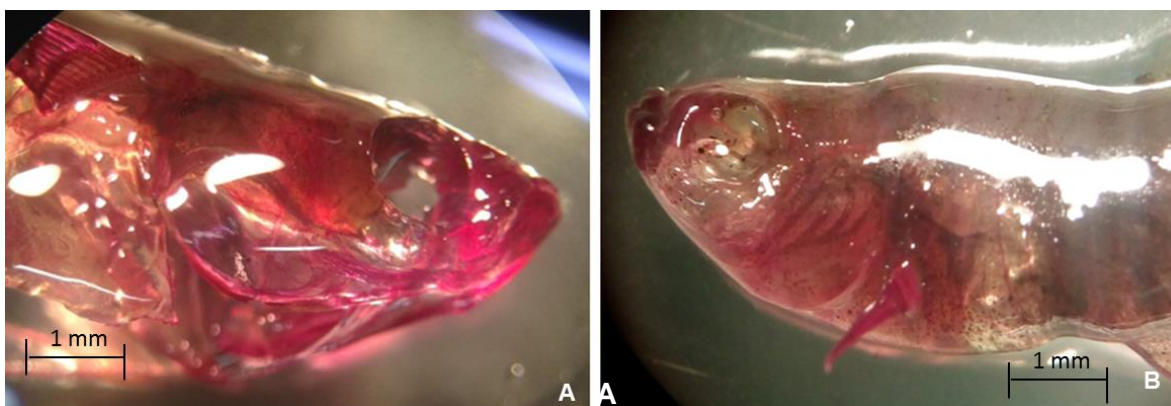


Figura 20: Cráneos en vistas laterales, lateral izquierda (A) y vista lateral derecha (B), nuevamente es persistente la coloración tenue. En B se puede apreciar una deformación marcada de la columna vertebral, una mancha notoria posterior a la aleta pectoral y un acortamiento del cráneo, en C, se aprecian los huesos del cráneo pero en una tonalidad muy suave y una separación de los huesos craneales haciendo que se alargue la cabeza de los mexcalpiques.



Es muy notable el tamaño de la cavidad ocular, presente en estos organismos, se asume que el tamaño de los orbitales es debido al desplazamiento de los etmoides laterales, los cuales se presentan adelgazados y alargados, de esta manera se encargan de comprimir el etmoides medio, el cual se alarga y se prolonga hacia el morro, esto produce que los orbitales tengan una mayor superficie en el cráneo del organismo.

la coloración presente en los organismos es repetitiva, tiene una apariencia de cristal, se denominan de esta manera debido a que la coloración más oscura se presenta en los bordes del hueso, dejando al centro del mismo con una coloración muy tenue incluso imperceptible la mayoría de las veces y a simple vista estos parecen ser transparentes (cristal).

Por otro lado el hueso opercular se observa muy definido (imagen A), en el caso del preopercular se encuentra alargado, el maxilar se ve desplazado hacia arriba junto con el dentario, los huesos nasales son visibles.

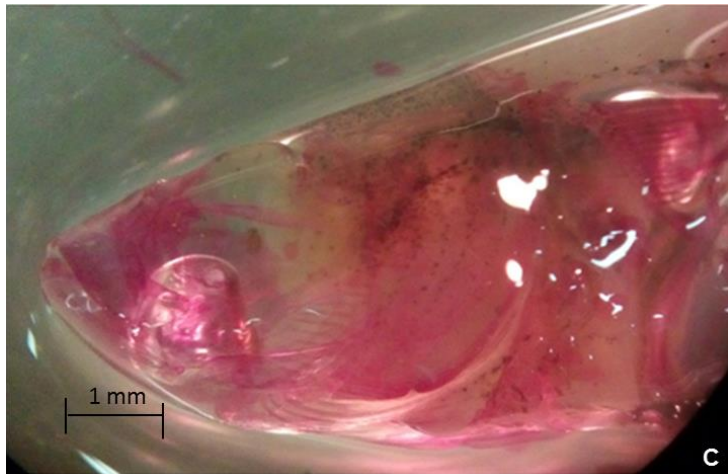


Figura 21: Cráneo de *G. viviparus* en vista lateral derecha.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

En el caso del Pez tiro se observa lo siguiente.

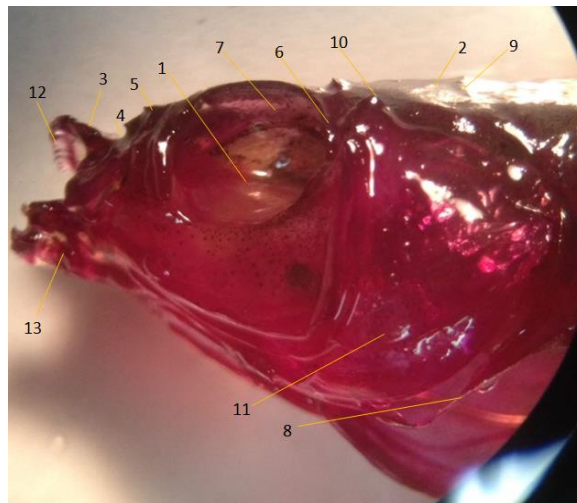


Figura 22: Hueso del cráneo de *G. atripinnis* en vista lateral: 1 (para esfenoides), 2 (parietal), 3 (pre maxilar), 4 (nasal), 5 (dermoetmoides), 6 (dermoesfenótico), 7 (orbito esfenoides), 8 (opercular), 9 (supraoccipital), 10 (frontal), 11 (preopercular), 12 (dentario) y 13 (maxilar). Vista lateral izquierda.

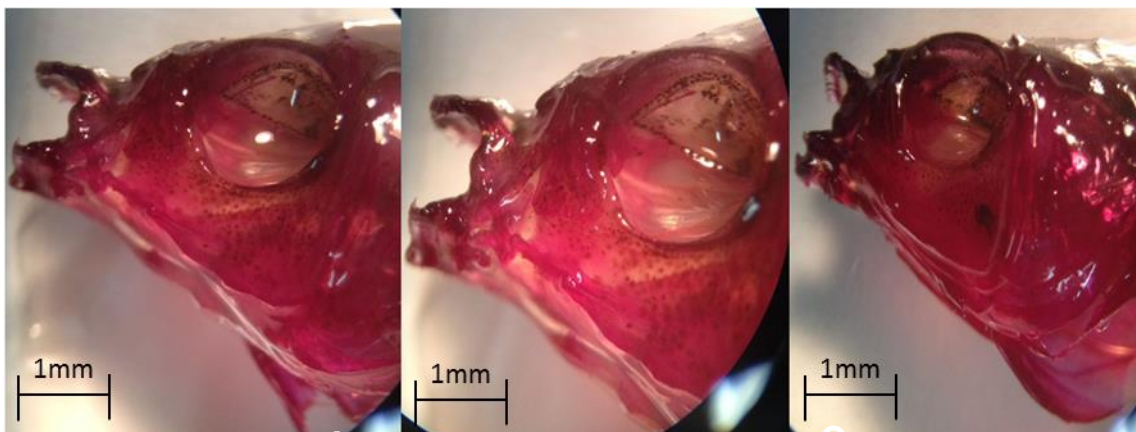


Figura 23: Cráneo en vistas laterales izquierdas.



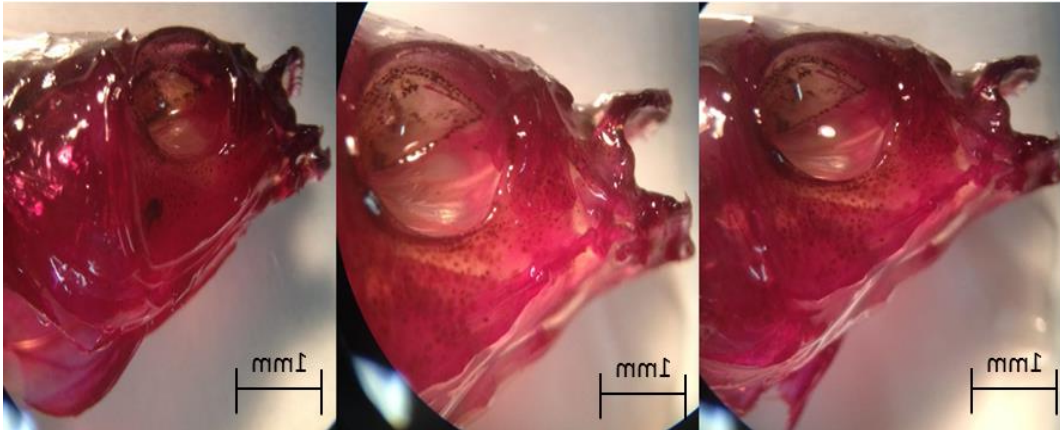


Figura 24: Vista lateral derecha del cráneo de *G. atripinnis*.

Como se observa en las regiones oculares se presenta un patrón de bioacumulación que rodea (imagen B, lateral izquierda) la cavidad, cabe mencionar que los metales se encuentran añadidos en distintas zonas de la cavidad; la osificación de los huesos del cráneo es alta, como se ha mencionado anteriormente. Los huesos esfenóticos de los organismos se encuentran ensanchados y con metales adheridos, al igual que los para esfenoides, dermoesfenótico y orbitoesfenoides, el dermoetmoides está acortado y un poco abombado (imagen B y C, lateral izq.), los pre-maxilares y maxilares se observan bien desarrollados y bastante osificados como el resto del cráneo dermatocráneo y esplanocráneo, el preopercular se muestra acortado y ensanchado.

Columna vertebral

La columna vertebral consiste en una serie de elementos óseos o cartilaginosos, los cuales se encuentran separados, mejor conocidos como vertebras, su función primaria es la de proteger la médula espinal y la arteria y dar soporte al cuerpo. En el caso de los peces la columna vertebral se pueden diferenciar dos regiones, la pre caudal y la caudal.

La forma de las vértebras en los peces es muy característica, estas presentan una forma Anficelica, en donde ambos extremos son cóncavos, dando así una forma particular de la distribución de las fuerzas entre estas (Olivares y Rojas, 2013).



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

La columna vertebral de *C.jordani* tiene aproximadamente entre 36 a 40 vertebras.

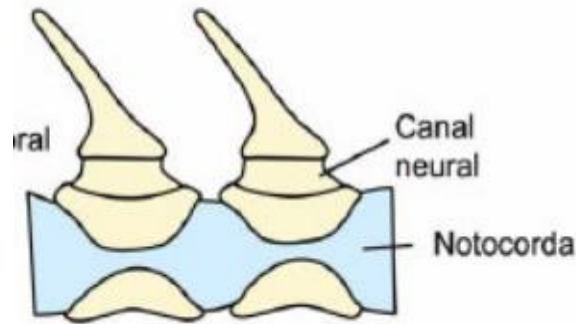


Figura 25: Centro vertebral de tipo Anficélico, donde ambos extremos de las vértebras son cóncavos. (Tomado de Olivares y Rojas, 2013).

En los charales en la columna vertebral se observa una serie de manchas adheridas a las vértebras, y un ensanchamiento de las espinas neurales, también podemos observar que la coloración rosada se mantiene en los huesos de la columna vertebral, los bordes de los huesos se encuentran remarcados y los centros tenues, esto habla de una seria descalcificación (Figura, 10) las manchas que son de cúmulos de metales pesados no permiten ver las uniones entre las vértebras. La columna vertebral de *C.jordani* tiene entre 36 y 40 vertebras, se



Figura 26. Columna vertebral del charal en la región pre caudal, en vista ventral, se puede observar la bio acumulación de metales pesados en la columna (mancha café) formando una nata que cubre por completo a las vértebras.

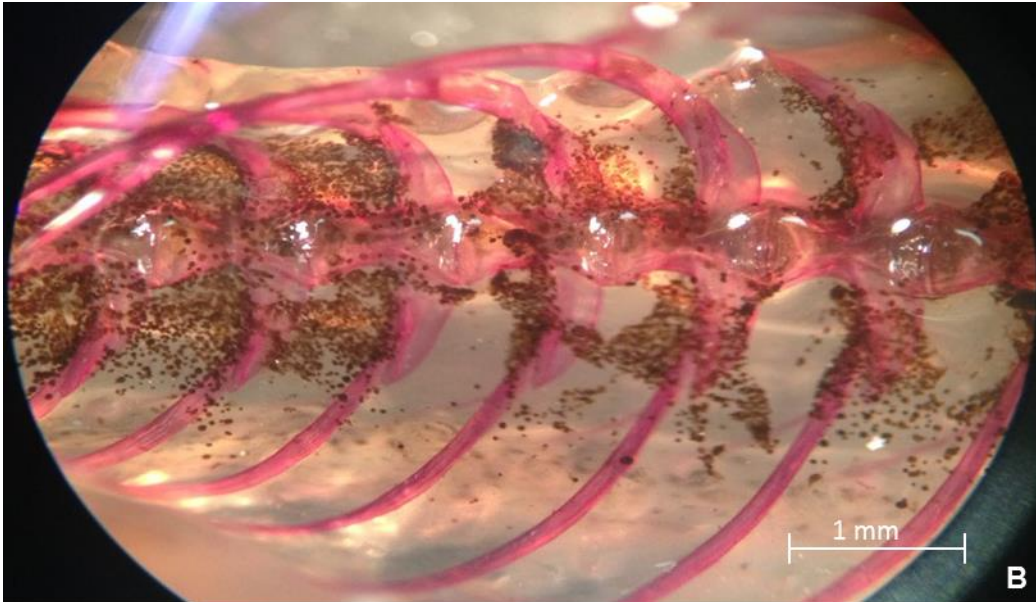


Figura 26. Columna vertebral del charal en la región pre caudal, en vista ventral acercamiento con microscopio estereoscópico a 2 aumentos, acumulación de metales pesados entre el musculo y el cuerpo vertebral del organismo y ensanchamiento de las costillas, también se observa un desplazamiento de la costilla hacia la izquierda.

La bio acumulación también se presenta en la musculatura de los organismos, se puede observar que la musculatura que rodea a las vértebras (tejido conectivo) y los mioceptos de la musculatura (segmentos unidos a las costillas en varios puntos) son los que concentran gran cantidad de contaminantes.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

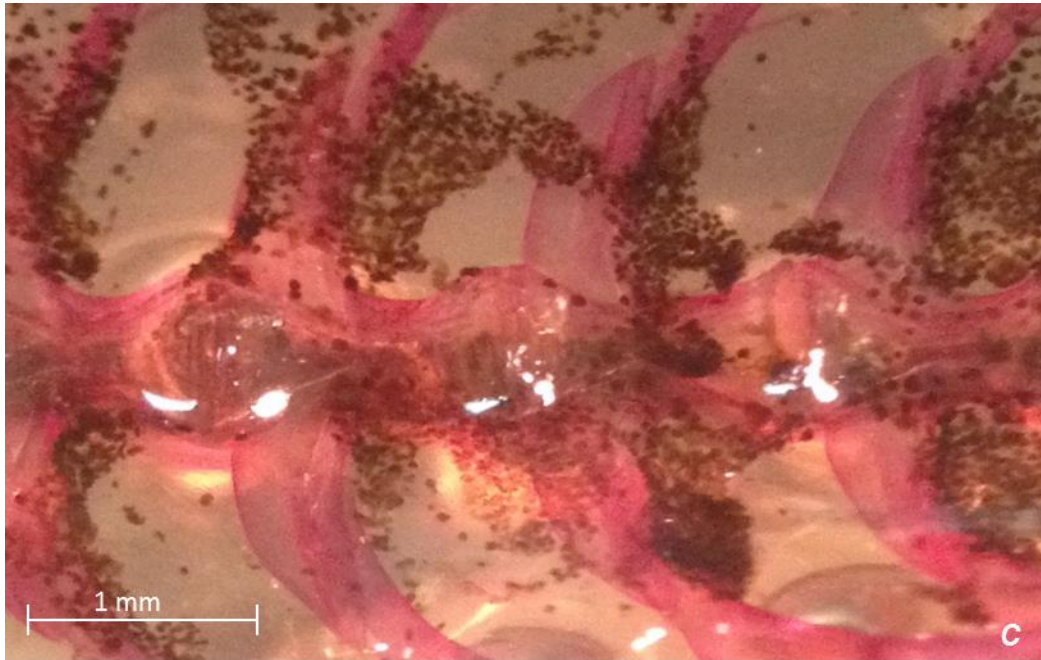


Figura 27. Columna vertebral del *C. jordani* en la región pre caudal, en vista ventral acercamiento con microscopio estereoscópico a 4 aumentos, es notable la acumulación de metales pesados, desplazamiento y ensanchamiento de las costillas.

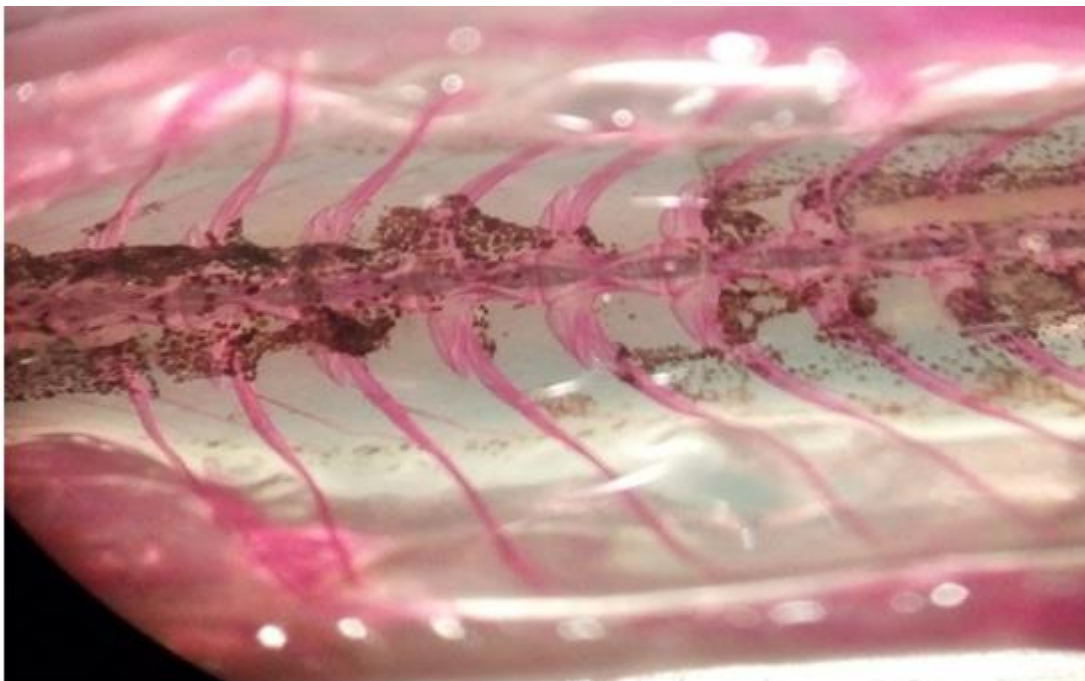


Figura 28: Vistas ventrales de la columna vertebral de la región pre caudal. Se observa el alargamiento de las vértebras y de las costillas a 4 aumentos en microscopio estereoscópico, es visible que entre una vértebra y otra se filtra el metal pesado ocupando espacio.

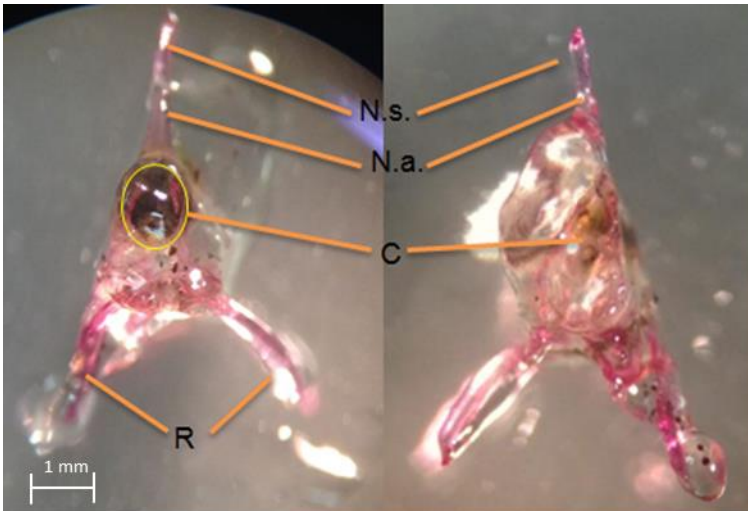


Figura 29. Anatomía de las vértebras pre caudales del charal. C (Cuerpo vertebral), N.a (arco neural), N.s (espina neural), R (costillas), se puede observar que el canal neural tiene concentración de metales pesados, hay una reducción de la apófisis transversa derecha haciendo que la costilla se desvíe la costilla izquierda se desplace hacia afuera.

En otros peces se alcanza a observar la unión entre vértebras, también se nota como se acumulan los puntos negros alrededor de estas y se van metiendo entre las vértebras (Figura 14, B y C). Si apreciamos con detenimiento podemos ver como en las espinas hemales de estos peces hay un ensanchamiento muy marcado hacia el lado derecho como si estuviesen bifurcadas aspecto que no sucede en peces sanos, esto nos llama la atención pues está con mayor presencia en las espinas hemales que en las neurales o dorsales. Otro aspecto importante en la columna vertebral de los charales es que la forma de las vértebras en un pez sano son en forma de un reloj de arena, muy simétricas, para este caso las vértebras se observan muy alargadas y nuevamente es visible la tinción en un rosa tenue, estas vertebras son poco visibles bajo al microscopio y se ven como si fueran de cristal, la tinción se observa a la periferia de estas, y el resto del cuerpo vertebral es transparente es notable la descalcificación de la columna



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

vertebral; es importante recalcar que la columna vertebral es una de las zonas con mayor acumulación de metales pesados.

Uno de los peces que se encontró en la muestra presenta deformidades óseas, este pez presenta en la columna vertebral con sifosis y lordosis que son curvaturas que generan daño en el nado de los peces y que se asocian a desnutrición o endogamia. Solo se presentó un caso de charal con estas deformidades sin embargo las condiciones del lago continúan así de contaminadas pueden presentarse más casos así.

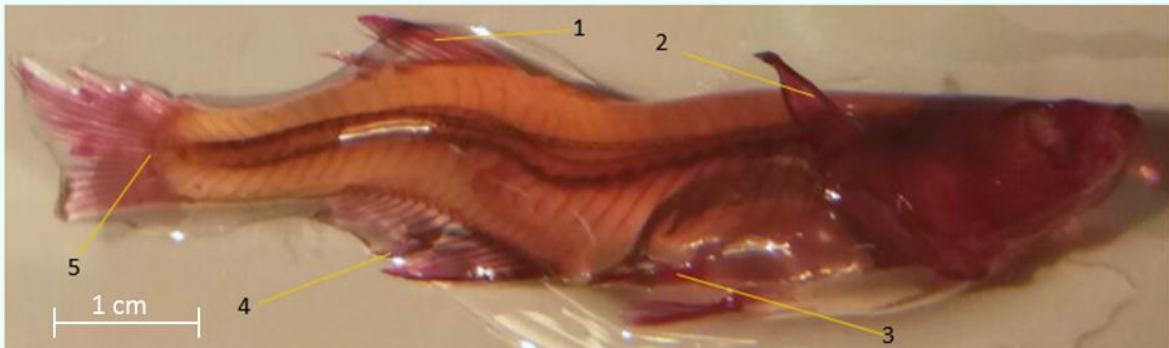


Figura 30. Charal con deformaciones óseas en la columna vertebral y las aletas. Aletas presentes en el charal (*C. jordani*), 1 (dorsal), 2 (pectoral), 3 (pélvica), 4 (anal) y 5 (caudal).

En el caso de los mexcalpiques la columna vertebral se presenta de la siguiente manera:

La columna vertebral fue una zona de difícil acceso, ya que para poder observarla se retiró tejido muscular esta parte del esqueleto, la columna constituye una de las zonas con un patrón muy peculiar de acumulación de los metales pesados, como se observa en la imagen A y B, la acumulación genera un aspecto de funda en las vértebras.



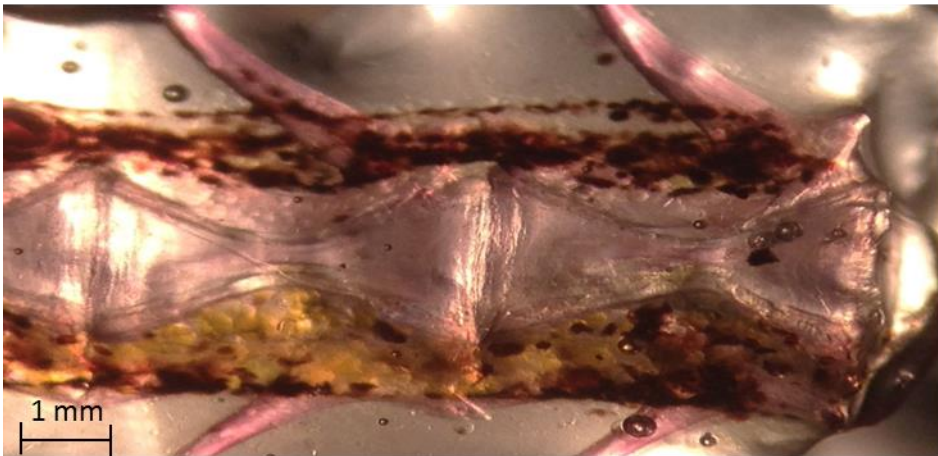
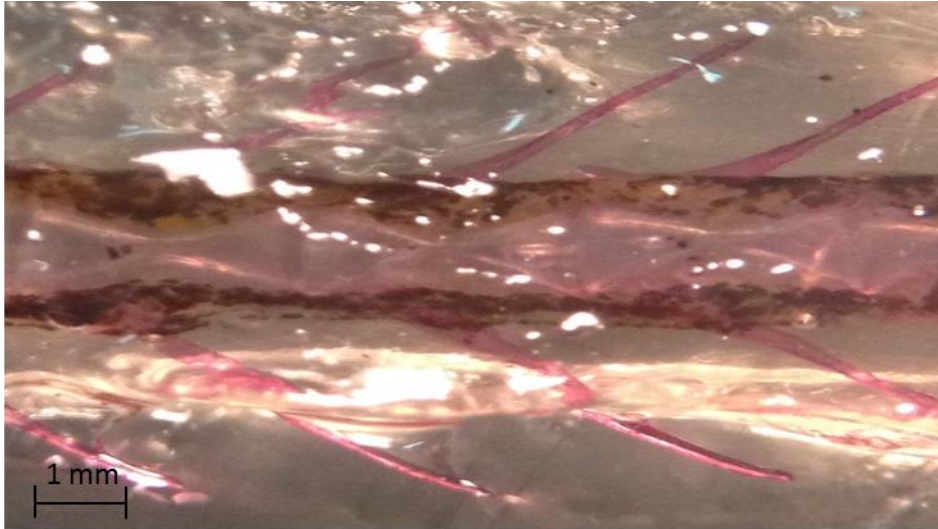


Figura 32. Fragmento de la columna vertebral de los Mexcalpiques. En A y en B se puede observar como los metales pesados han permeado en el tejido a diferencia de los charales no hay evidencia de que los metales entren en los espacios intervertebrales, solo se queda en la parte cóncava de las espinas y la vértebra. En a se observa como las espinas no ocupan todo el lugar de la vértebra, también se observa como la vértebra se encuentra descalcificada, en B se nota más claramente la acumulación de partículas de metales pesados en dos tonalidades la primera en amarillo y segunda en café.

La columna vertebral es una zona de acumulación de los contaminantes en estos peces, los metales pesados se acumulan alrededor del cuerpo vertebral, dando así un aspecto de funda recubriendo la columna, otro aspecto relevante en la columna de estos organismos, es la forma que presentan las vértebras, como se mencionó con anterioridad (en charales) se sabe que las vértebras de los peces tiene una forma Anficelica; otro aspecto de relevancia es la poca osificación



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

presentes en el cuerpo vertebral, además de que también se presenta una separación anormal de vertebras.

Los peces tiro muestran una columna vertebral de la siguiente manera:

La columna vertebral de los goodeidos, se vio también afectada por la bioacumulación de metales pesados; la coloración presentada en estos organismos fue más intensa en comparación con la de los charales y los mexcalpiques, se puede ver que la bioacumulación se encuentra asociada a la base de las vértebras, hay una serie de burbujas que se encuentran entre las vertebras, espacio que hace que las mismas se ensanchen.

Las vértebras obtenidas de las regiones (precaudal y caudal) se observa la acumulación de metales en la zona del cuerpo vertebral y de la base de las espinas.

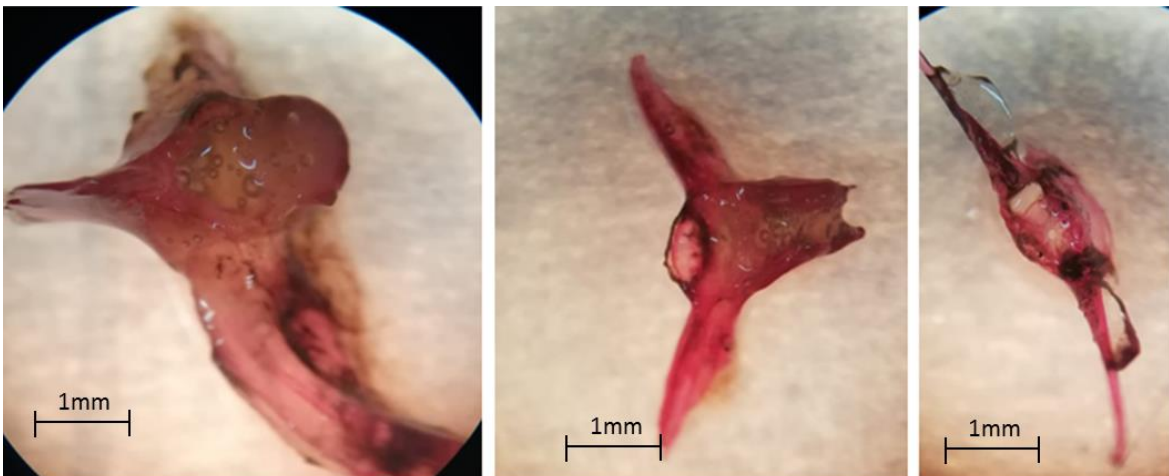


Figura 32: En la figura A y B se observa vertebras de la región precaudal y en C una vértebra de la región caudal.

Las vértebras se observan asimétricas, siendo más grande a un lado y más acortados en otro, presentan una forma distinta, de acuerdo a la posición de donde se obtuvieron, las pre caudales cuentan con un canal neural más amplio y su tamaño es mayor, debido a que dan sostén al cráneo del organismo, de igual



manera las pre caudales obtenidas a la altura de la caja torácica muestran un mayor ensanchamiento de las espinas, esto debido a que darán sostén a las costillas, que formaran la región torácica, por otro lado las vértebras de la región caudal, las espinas neurales y hemales se encuentran alargadas, estas se modifican para dar sostén a la aleta caudal, la cual brinda movilidad al organismo. La columna vertebral es una zona de acumulación de los metales pesados, estos se encuentran adheridos al hueso, generalmente al canal neural y a los músculos de los peces.

Otro factor importante de mencionar es que a lo largo de esta zona, se presentó una línea de contaminantes que recorría de la punta de la cola al hocico, ramificándose por todo el cuerpo del organismo como se puede apreciar en la imagen #.

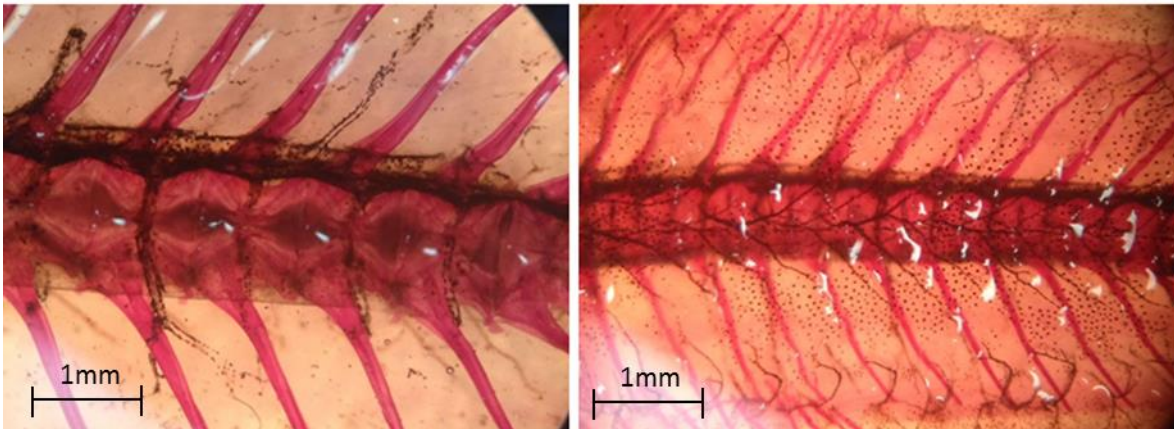


Figura 33: Canales de dispersión de contaminantes, a través de la musculatura de *G. atripinnis*.

Una anomalía observada en estos peces es la apertura de las espinas neurales y hemales como si fuese mazorca de maíz (esto es completamente anormal en los organismos) sujeto al tallo esto no es normal en los peces, solo debe presentarse la espina no una ramificación tan ensanchada. Esto habla de la presencia de costillas dorsales y ventrales esos es común en la zona torácica de los peces, pero no es el área neural de los peces. Presentando una de las mayores deformaciones.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Como se ha venido mencionado en los apartados anteriores la composición de la columna vertebral de los peces es particular, debido al tipo de vertebras que presentan (Anficelicas), en *G. atripinnis* se presenta un aproximado de 40 vertebras; como se puede apreciar en la imagen hay bioacumulación de metales pesados en las uniones de intervertebrales, esto da como resultado que se vaya filtrando hacia adentro del cuerpo vertebral ensanchándolo.



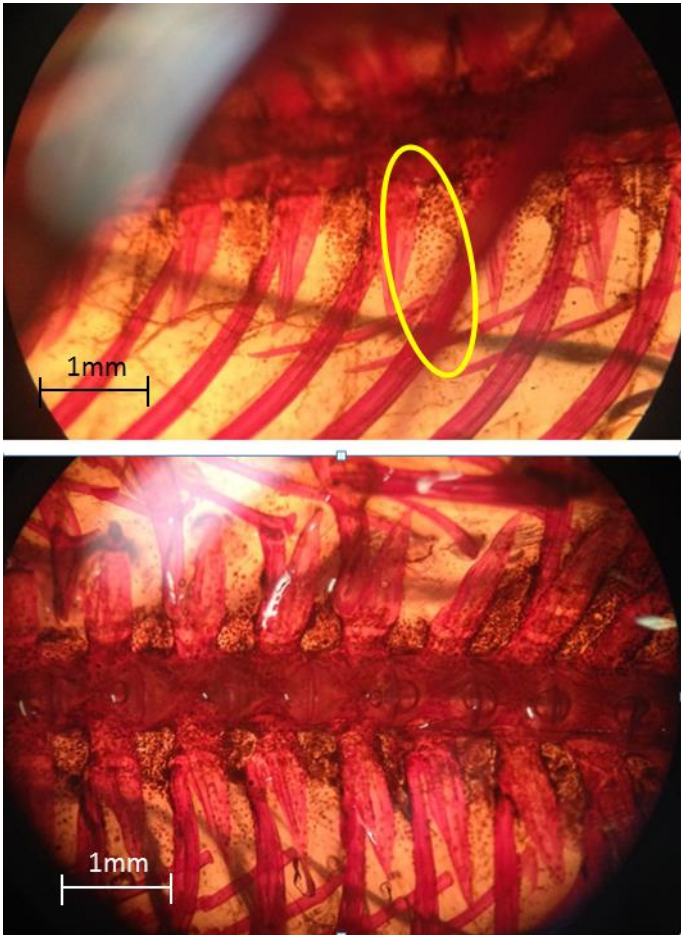


Figura 34: Vista ventral de la columna vertebral de *G. atripinnis*, las prolongaciones anormales de las vértebras mencionadas anteriormente se encuentran señaladas.



Costillas

Otra estructura afectada en las tres especies estudiadas fueron las costillas, debido a que presentaron una serie de modificaciones distintas para cada especie, a continuación se presentan de igual manera.

En los Charales las costillas en la siguiente imagen, se pueden notar dos cosas muy evidentes, la primera la marcada línea lateral a través de puntos continuos no propios del pez sino la acumulación de metales pesados en los pequeños orificios que llevan a la línea lateral. La segunda son las zonas remarcadas de los mioceptos por los metales pesados; las malformaciones en las costillas de los peces, también se pueden observar, se presenta un adelgazamiento y en algunos casos deformaciones en la forma de las mismas, como se puede observar en la imagen 16, así como también es notable la presencia de contaminantes en la unión de la costilla con las espinas vertebrales.

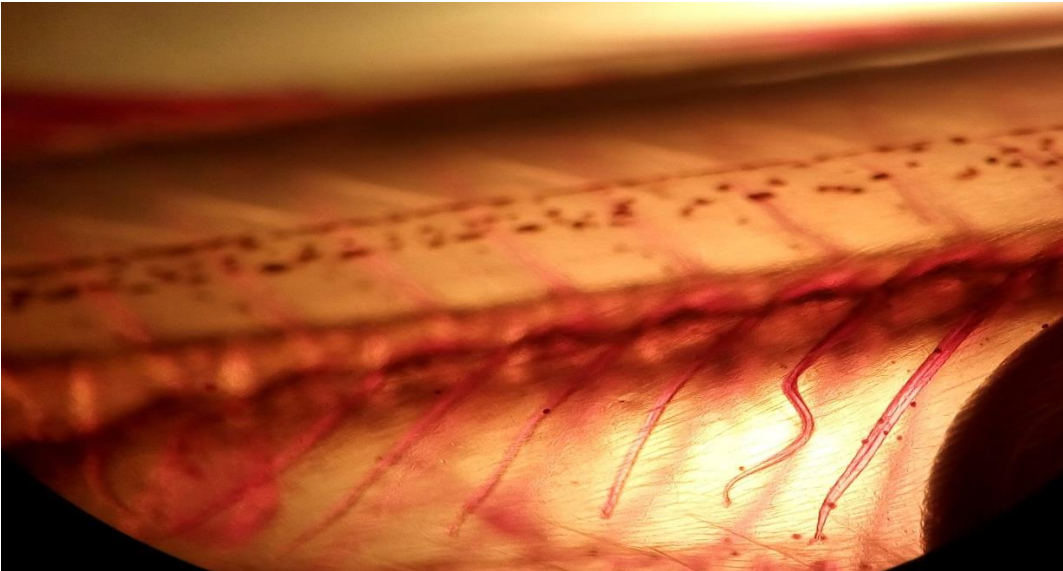


Figura 35. Vista lateral de las costillas en la región pre caudal de *C.jordani*, es visible nuevamente la acumulación de metales pesados en esta sección del cuerpo; la línea lateral sigue presente a lo largo del organismo, siendo esta sustituida por los contaminantes, además también es notorio la deformación de las costillas, presentándose más alargadas y adelgazadas.



Una vez que terminaron el proceso de diafanización se rehidrataron en un tren de glicerina y en mayores concentraciones de glicerina los metales pesados se fueron retirando del tejido, dejando ver más las costillas.

El poder observarlas las costillas no fue nada sencillo, debido a que a ser muy delgadas no eran visibles y para su observación se retiró músculo (Figura 16); la coloración que tomaron es rosa tenue, la zona de unión hacia las vértebras se encuentra tapizada de metales y aquí es donde se encuentra la mayor concentración de los metales y esta disminuye conforme termina la costilla.

En los Mexcalpiques se observa lo siguiente en las costillas:

Las costillas de estos organismos se encuentran insertadas a partir de la tercera vertebra de la región pre caudal, también es notable que se presentan algunas diferencias visibles, primero en el caso de la imagen A podemos observar el achatamiento y acortamiento de las costillas, así como su engrosamiento, además de que nuevamente es evidente la poca osificación del esqueleto, por otro lado en la imagen B podemos observar que las costillas también se presentan alargadas y tiene un aspecto frágil, cabe mencionar que no existen rastros de los contaminantes en ninguna de las costillas del organismo, la mayor acumulación de los metales se da en la unión del cuerpo vertebral con la costilla, mas no por encima de estas.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

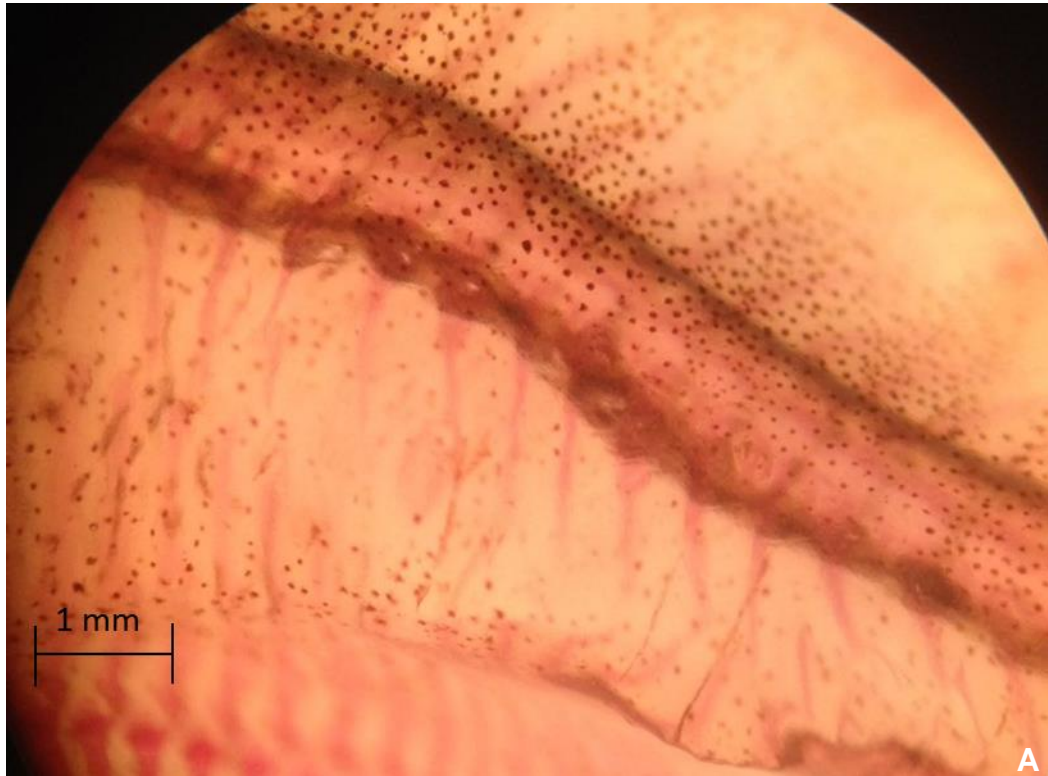


Figura 36. Costillas de los Mexcalpiques de Chapultepec.

En la figura 29 se puede apreciar la acumulación de los contaminantes en la columna, además de que también se observa que los metales están adheridos al musculo, por otro lado las costillas de este organismo se observan adelgazadas y poco osificadas, además de que esta zona se encuentra con una alta cantidad de contaminantes ligada al musculo.

Por otro lado las costillas del Pez tiro también presentan anomalías, presentadas a continuación.



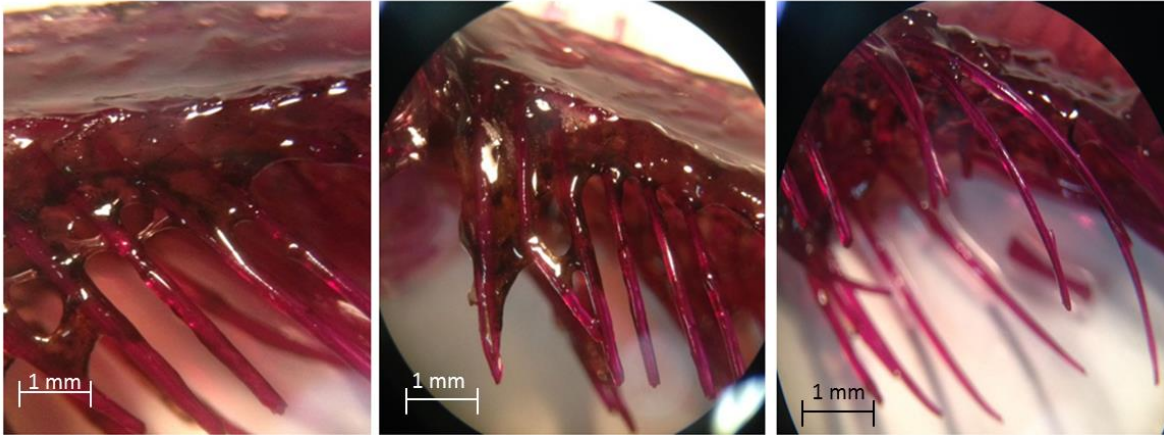


Figura 37: Costillas de los peces tiro.

Las costillas de los goodeidos, presentan una posición menos encorvada de lo común en estos peces, también hay una disminución del tamaño de las intercostillas y se encuentra muy adherida una capa de contaminantes la cual permaneció después del proceso de diafanización. La coloración presentada Es rojiza, lo que indica que se encuentra bastante osificada, sin embargo se están alargadas.

Las costillas fueron también una de las principales estructuras en teñirse en el proceso. Para poder observarlas se retiró la capa de piel que protege a los organismos, esta presento un notable adelgazamiento y una textura plástica, retirarla fue muy fácil y de inmediato las costillas pudieron ser expuestas para su observación y análisis. Las costillas pudieron ser expuestas para comparación con las ventrales, y la posición es muy por encima de lo normal, están superpuestas; esto afecta considerablemente a la posición de las costillas ventrales porque no pueden bajar correctamente ni arquearse por el ensanchamiento de las costillas dorsales. Se asume que esto es debido a la inflamación de los órganos del organismo, y probablemente por esta inflamación a lo largo de un tiempo las costillas se hayan desplazado de esta forma y también adoptaran esta estructura.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpique y pez tiro del lago de Chapultepec

Con estas imágenes terminamos la descripción de las malformaciones y bioacumulación de metales pesados en el esqueleto axial de los peces.

Se continuara con el esqueleto apendicular que está conformado por las aletas.

Aletas.

Como es bien conocido las aletas son extremidades que permiten el desplazamiento de los organismos, así como también es notorio que el número, la forma y la posición de estas varía dependiendo la especie.

En el caso de los charales podemos observar la presencia de 5 aletas, la aleta dorsal, únicamente presenta radios de tipo lepidotricos (flexibles), las aletas pectoral y las pélvicas son pares, la aleta anal se encuentra conformada únicamente por radios flexibles, la aleta caudal presenta una forma heterocerca, la cual está conformada por radios neurales y hemales.

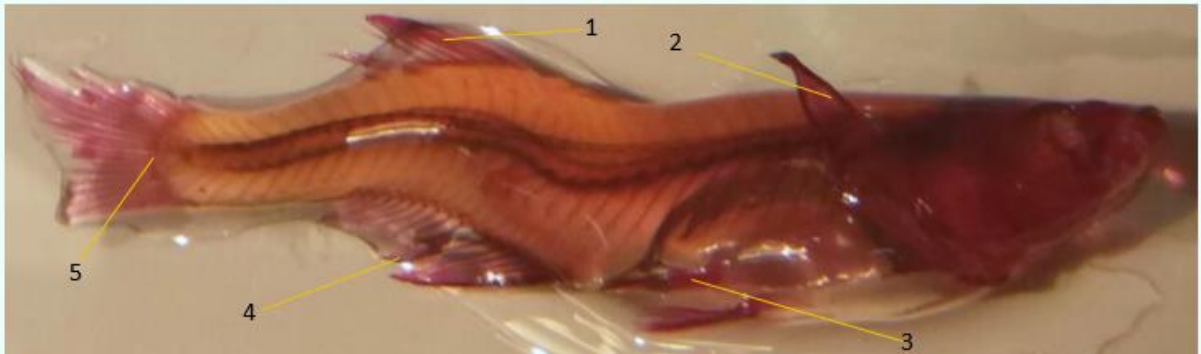


Figura 38. Charal con deformaciones óseas en la columna vertebral y las aletas. Aletas presentes en el charal (*C. jordani*), 1 (dorsal), 2 (pectoral), 3 (pélvica), 4 (anal) y 5 (caudal).

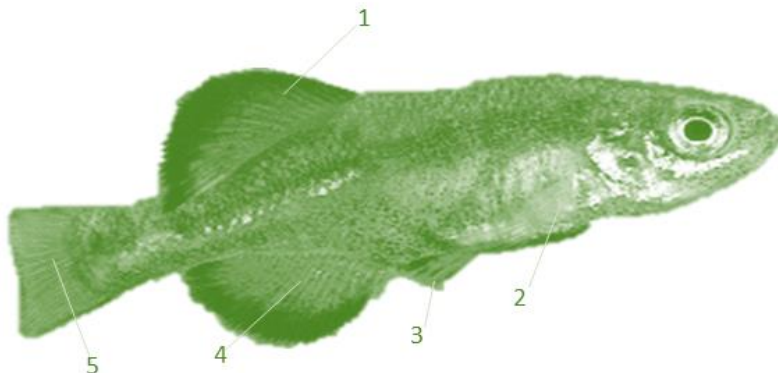


Figura 39. Aletas del Mexcalpique: 1 (dorsal), 2(pectoral), 3(pélvica) 4(anal) y 5(caudal).



Este organismo cuenta con 5 aletas, la dorsal se presenta en una sola pieza, conformada por radios y no presenta espina dorsal, sus aletas pectorales y pélvicas son pares, además de que la caudal es grande.

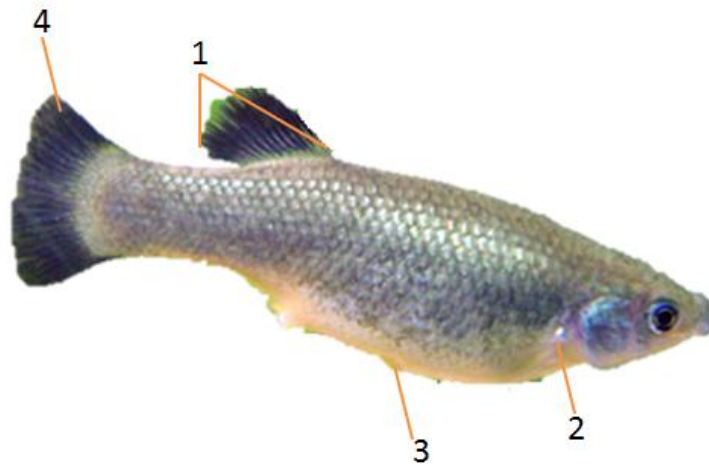


Figura 40: Aletas del pez tiro: 1(dorsal), 2(pectoral), 3(pélvica) y 4(caudal)

Las aletas de los organismos serán presentadas en el siguiente orden: aleta dorsal, Pectoral, Pélvica y caudal.

Aleta dorsal

La aleta dorsal se encuentra en la parte superior del organismos, es una aleta impar, una característica de esta extremidad es que puede estar segmentada en dos o tres piezas o ser una sola pieza ósea, además puede encontrarse precedida por una espina dorsal; se encuentra formada por radios lepidotricos (es decir flexibles) esta aleta se adhiere a la musculatura y a las espinas neurales de la columna a través de otras piezas óseas denominadas pterigóforos, los cuales se presentan en pares para anclar la aleta dorsal al cuerpo del organismo y permitir así un desplazamiento óptimo del organismo.



En los charales la aleta dorsal se encuentra de la siguiente manera:

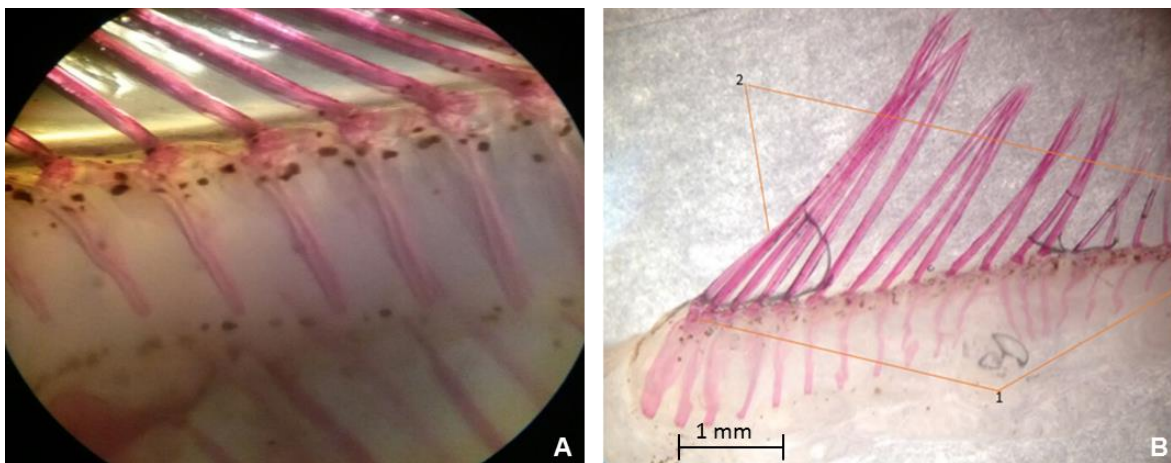


Figura 41: En la imagen A podemos observar la posición de la aleta dorsal con acumulación de metales pesados y en B se observan los componentes de la aleta dorsal, 1 (Pterigóforos basales), 2 (Radios dorsales), si podemos observar están desordenados, abiertos dejando espacios y en los primeros de izquierda a derecha se encuentra un ensanchamiento anormal del pterigóforo.

Es notable que la aleta dorsal presenta en los pterigóforos y radios una coloración rosa tenue, esta coloración abarca desde los radios dorsales hasta los pterigóforos basales, los primeros pterigóforos que se unen con la musculatura y con las espinas neurales, se encuentran ensanchados, otro aspecto importante de mencionar fue la dificultad para poder observarlos, ya que para esto se retiró una gran cantidad de tejido. Los contaminantes se encuentran adheridos a la zona de los pterigóforos y presentes en algunos radios dorsales, pero no en el resto de la aleta.

Los mexcalpiques presentan siete aletas: una dorsal, dos pectoral y dos pélvica (aletas pares), una aleta anal y por último la aleta caudal.



Como se mencionó en la sección anterior la aleta dorsal se encuentra en la parte superior de los organismos, es una aleta impar, se encuentra formada por radios lepidotricos (es decir flexibles). La aleta dorsal se encuentra ubicada aproximadamente a la altura de la doceava vertebra pre caudal, tiene aproximadamente de 23 a 25 radios lepidotricos, normalmente cada uno de los pterigóforos deben corresponder a una espina neural, pero en estos organismos se presentaban más de un par de pterigóforos por espina.

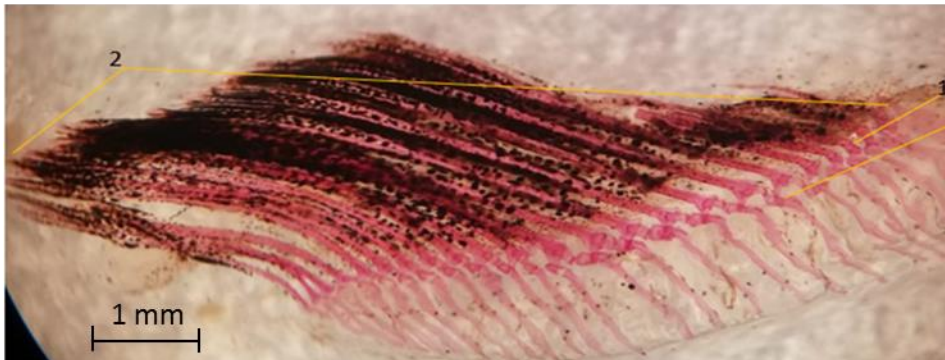
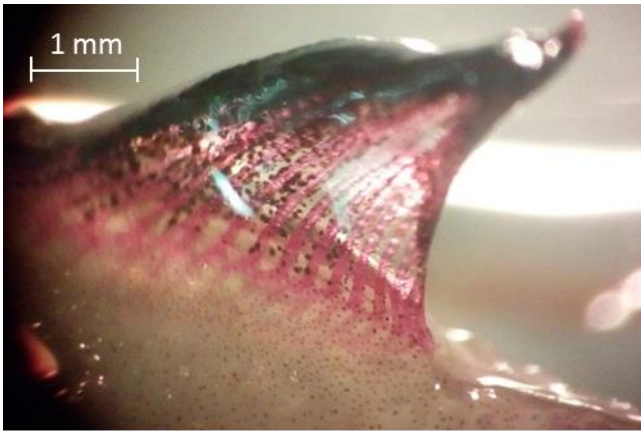


Figura 42: En la imagen A podemos observar la posición de la aleta dorsal, así como también la acumulación masiva de los contaminantes en los radios, en la imagen B se observan los componentes de la aleta dorsal del mexcalpique: 1(Pterigóforos basales),2(radios dorsales) y 3(Pterigóforos distales)

Lo más notable en la aleta dorsal es la concentración de los contaminantes en los radios, dando la apariencia de una sábana oscura y de esta manera dejando al descubierto los pterigóforos basales y distales, nuevamente se presenta la coloración mencionada con anterioridad; Se



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

puede observar también que las espinas de la aleta, son alargadas y delgadas, cada espina está colocada con un pterigóforos. Otro aspecto llamativo también es la coloración más oscura de los pterigóforos basales y distales, la coloración más intensa se observa al centro de estos, respectivamente, es notable también que la forma de los pterigóforos no es homogénea, los primero se encuentran un poco más alargados y engrosados y los del medio se encuentran mucho más pequeños y adelgazados.

En el pez tiro la aleta dorsal se presenta de la siguiente manera:

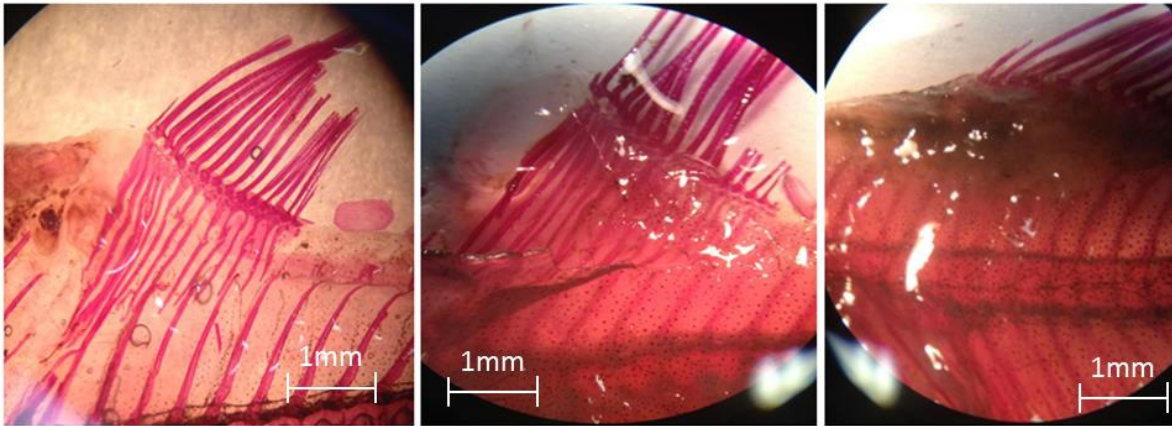


Figura 43. Aleta dorsal de *G. atripinnis*.

La aleta dorsal de estos organismos se presenta bastante osificada, sin embargo existe un desfase en los pterigóforos de las aletas, en un organismo típico, los pterigóforos únicamente presentan un par por espina, no obstante en este caso podemos observar que se presentan de 2 – 4 pterigóforos por espina y además es notable el adelgazamiento y alargamiento de los mismos (Imagen A y B), así como también el desfase que presentan, se observa que los huesos de la aleta se encuentran bastante osificados, debido a la coloración que presenta, otro aspecto importante es que del lado izquierdo superior a la aleta se puede observar un paquete de color café oscuro (Imagen C), esto se localizó no solamente en un organismo, si no que fue repetitivo en varios, exactamente no se



ha determinado cual es el contenido de la misma, al principio se sospechó que era grasa, pero debido a la forma de presentarse pone en duda esta suposición.

Aleta Pectoral

Las aletas pectorales de los peces se localizan detrás de las aperturas branquiales, estas permiten al pez dar vuelta, subir, bajar y realizar muchos movimientos.

En los charales se observa una coloración tenue que hace referencia a la poca osificación de la cintura pectoral, así como también se observa la acumulación de puntos negros en algunos de los radios, dando una apariencia de estar encapsulados en estos y la coloración de los puntos es opaca. La mayor bioacumulacion de metales se encuentra distribuida en las aletas, se considera que estos es producto de que las aletas se encuentran más expuestas al medio y los radios lepidotricos permiten que se dé un mejor acomodo.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

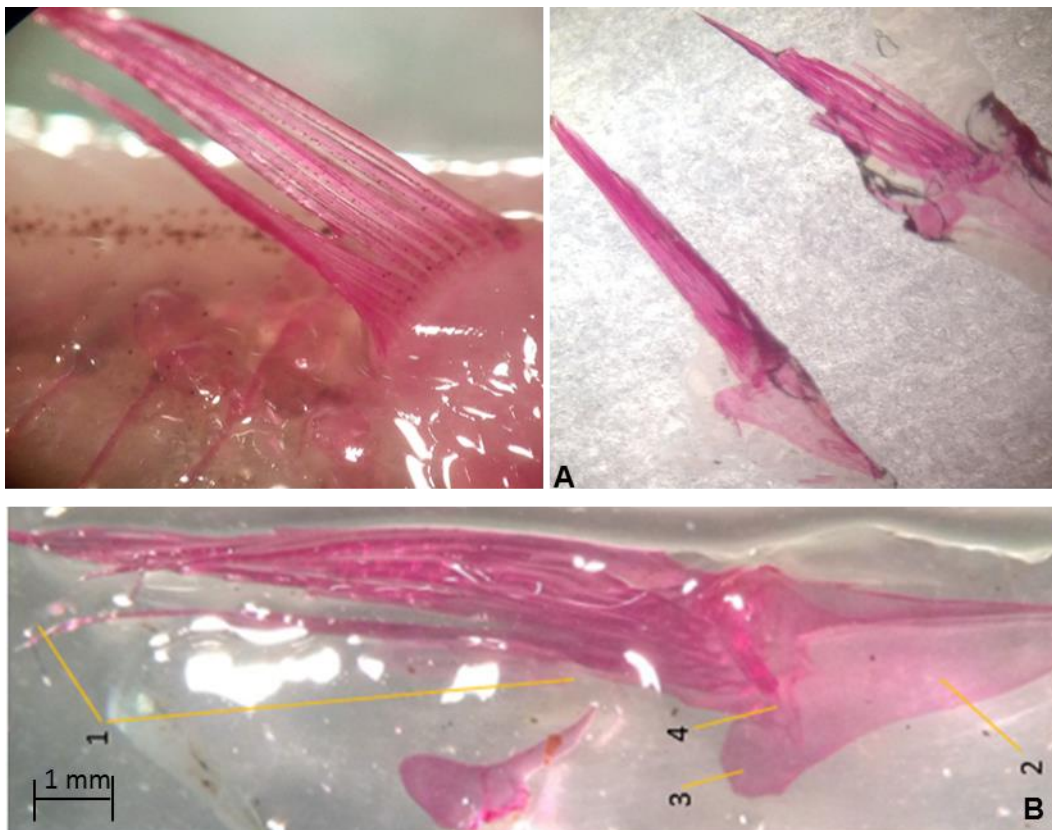


Figura 44: Se observa en A y B, la posición y la forma de las aletas pectorales en los charales, en C podemos observar los Componentes de la aleta Pectoral: 1 (Radios), 2 (Cleitrum), 3 (pos temporal), 4 (supracleitrum).

En la imagen B se puede notar que la mayor coloración se presenta en el margen del cleitrum, dejando al interior de esta pieza ósea un aspecto de cristal, para poder acceder a la cintura pectoral, se realizó una eliminación manual de tejido muscular.

En los mexcalpiques las aletas pectorales se presenta de la siguiente manera:

En las aletas pectorales de estos organismos, se puede observar que la forma del cleitrum es más achatada y más abombada, el hueso pos temporal se encuentra muy alargado y adelgazado, el coracoides se encuentra reducido de igual manera, la placa pectoral se encuentran ensanchada y poco definida; los actinosteo son visibles y se observan alargados y un poco adelgazados, la segmentación de los radios no es visible, pero la coloración de estos es mucho más intensa que el resto



de la aleta, también es visible que están adelgazados y cortos. Otro detalle observable es que la concentración de los metales no se encuentra adherida al hueso, si no que estos están adheridos al tejido muscular.

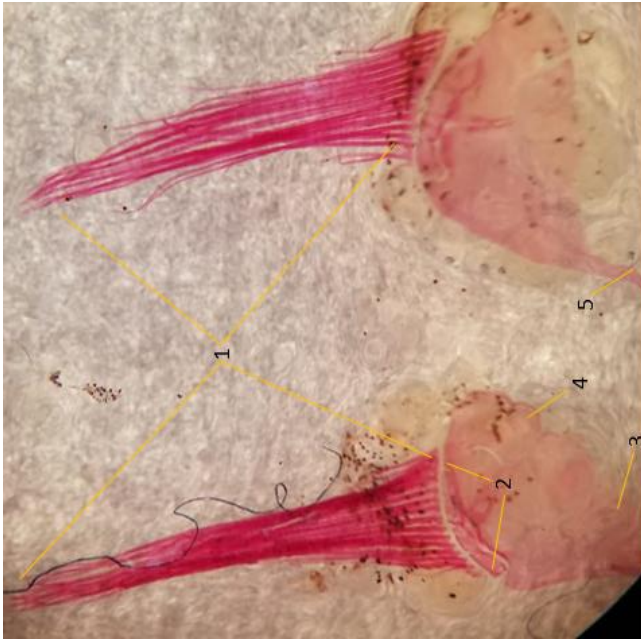


Figura 45: Componentes de la Aleta pectoral del Mexcapilque: 1 (Radios), 2 (Actinosteo 1- 4), 3 (Cleitrum), 4 (Coracoides) y 5 (posttemporal). En estos se puede apreciar el ensanchamiento de los huesos base para los radios que conforman la aleta pectoral de los mexcalpiques se encuentran muy descalcificados aspecto muy similar al de las escamas de los charales

En los peces tiro las aletas pectorales se presentan de esta manera:

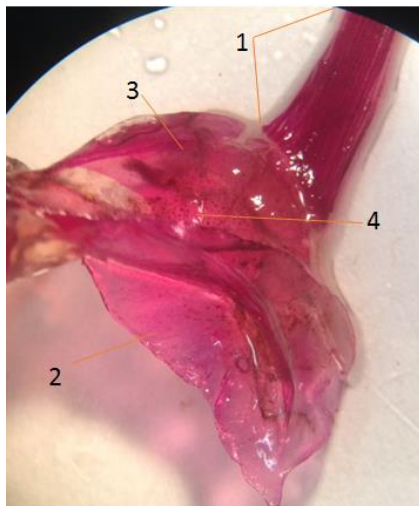


Figura 46: Componentes de la aleta pectoral de *G. atripinnis* 1 (Radios), 2 Cleitrum), 3 (Actinosteo 1- 4) y 4 (Coracoides)



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

En las aletas se presentan manchas oscuras, posiblemente debidas a los contaminantes, presentan un gran tamaño, como se observa en la imagen #, por otro lado podemos prestar atención a los grandes radios, muy teñidos, un centrum bastante abombado y ensanchado, los actinosteos se pueden observar a simple vista, debido a su gran tamaño y por último la zona del coracoides nos muestra una pequeña puntea dura de posibles contaminantes.

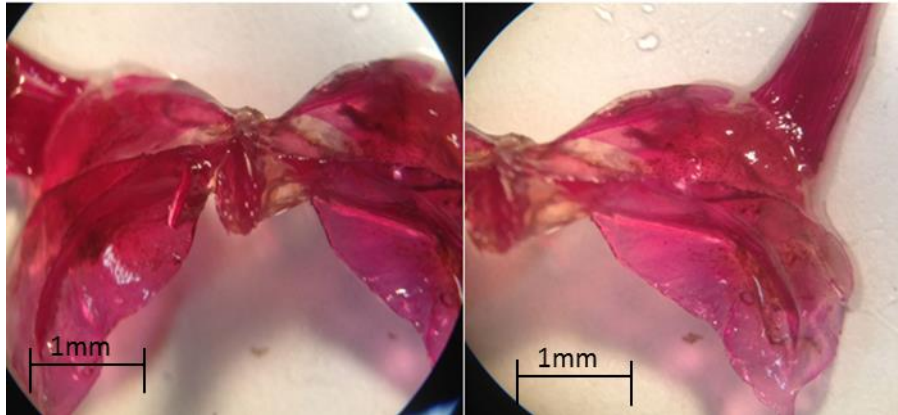


Figura 47: Aletas pectorales de *G. atripinnis*.



Aletas Pélvicas

Las aletas pélvicas constituyen parte del esqueleto apendicular, son aletas pares, estas se encuentran colocadas a partir de la zona braquial, localizadas en la parte inferior del organismo. A diferencia de las aletas pectorales (denominadas así debido a que son la modificación de la cintura pectoral y de acuerdo a su posición) en las pélvicas pueden encontrarse en posición abdominal: posterior a las pectorales, torácica: bajo las pectorales, yugular: anterior a las pectorales o intermedia: parte intermediaria del cuerpo del pez, como es el caso de los charales.

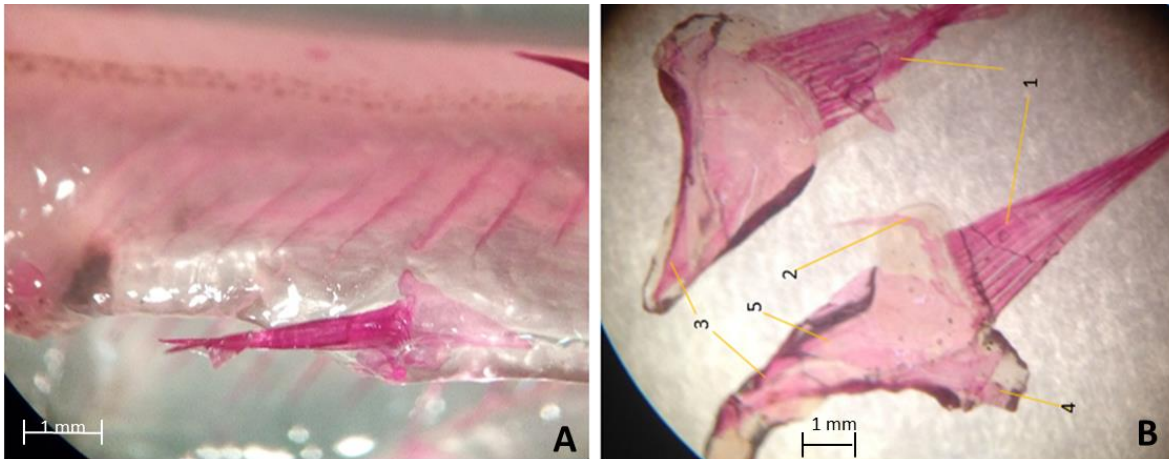


Figura 48: En la imagen A se observa la posición de las aletas pélvicas, y en B se observan los componentes de la aleta pélvica, 1 (Radios), 2 (Espina pélvica), 3 (cleitrum), 4 (posttemporal) y 5 (coracoides). Todos los huesos asociados a la aleta se encuentran descalcificados y es difícil determinar donde comienza un hueso y donde termina otro. En la parte interna se ve algunos desgarres.

En la cintura pélvica se muestra nuevamente el similar patrón de coloración tenue, además de que es posible notar que en estas extremidades no existen residuos de los metales pesados, la imagen B muestra que los puntos presentes están inmersos en el residuo de tejido que está por encima del cleitrum; en esta cintura existe la presencia de una espina pélvica, la cual se observa delgada y teñida con un color rosa tenue, de igual manera la segmentación de los radios no es visible, se observa que la forma del cleitrum es ensanchada y achatada, así como



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

también el hueso posttemporal se presenta reducido y achatado, para el caso del coracoides presenta una forma alargada.

Como se ha mencionado con anterioridad, las aletas pélvicas de los mexcalpiques presentan la coloración tenue como se ha venido mencionando, además de que también es notoria la presencia de contaminantes en el tejido que las rodea.



Figura 49: Aleta Pélvica del mexcalpique en vista lateral, se encuentra muy impregnada de metales pesados aún después de pasar por el tren de glicerina. Se pueden observar los pterigóforos de la aleta pélvica todos deformados y descalcificados



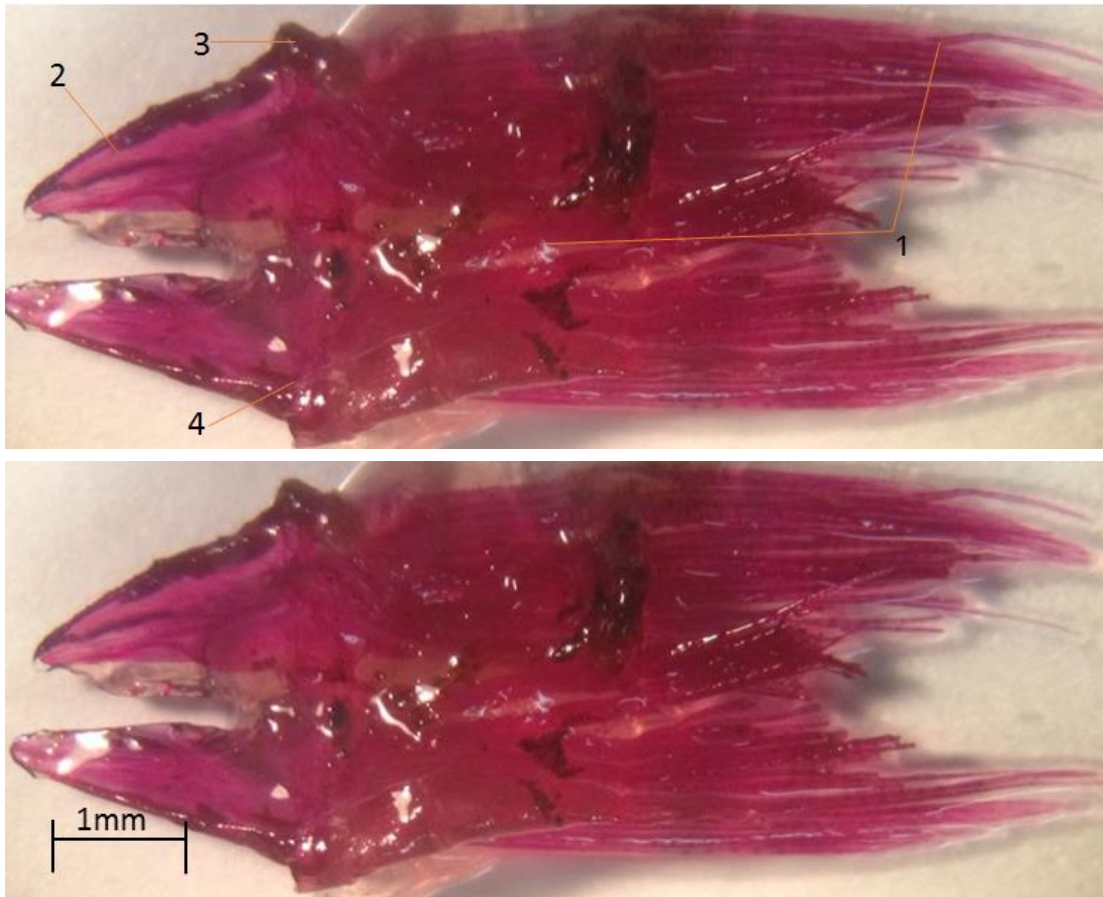


Figura 50: Aletas pélvicas de *G. atripinnis*.

La cintura pélvica tiene las aletas de gran tamaño, no obstante tiene los huesos pélvicos ensanchados y cortos; la segmentación de los radios es evidente, así como su gran número también, en todas las aletas se presenta una gran acumulación de metales; sin embargo no penetra el radio mismo, solo queda por encima pegado en forma de nata; además que el pos temporal es reducido y acortado

Aleta caudal

La aleta caudal es una aleta impar localizada al final del cuerpo del organismo, está conformada por los huesos hipurales y epurales, estos surgen de la fusión de las últimas vértebras de la columna vertebral, las cuales sufren estas modificaciones



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

para dar soporte a la aleta, la cual tiene la función de dar el mayor impulso al organismo para desplazarse en la columna de agua.

Esta puede presentar distintas formas, las cuales van desde redonda, furcada, homocerca emarginada y heterocerca, cada una de estas está relacionada con los hábitos natatorios del pez.

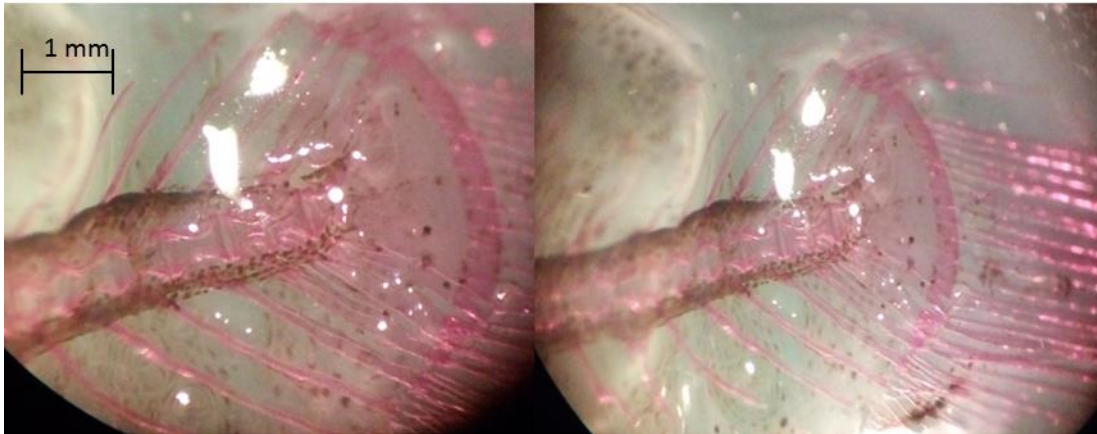


Figura 51: Componentes de la aleta caudal: 1 (Radios), 2 (Placa hipural), 3 (centro compuesto), 4 (Radios Neurales), 5 (Radios Hemales), 6 (Hipural III +Hipural IV), 7 (Parhipural + Hipural I + Hipural II), es importante observar que los huesos de la aleta caudal no se observan fácilmente tienen muchas partículas de metales pesados tienen muchos radios asociados a ellos muchos más que en un pez sano.

Para la aleta caudal se encontraron algunas deformaciones primero la continuidad de puntos negros, la tinción de un rosado muy pálido al inicio de la diafanización, en la Figura 20, se puede notar como la línea lateral sigue presente hasta el urostilo, una vez diafanizados los organismos podemos observar que los huesos del urostilo casi no se pueden apreciar, esto debido a una seria descalcificación, además de presentarse una gran acumulación, por otra parte los radios de las aletas presentan una coloración muy tenue, además de que se presentan los contaminantes adheridos a los radios.



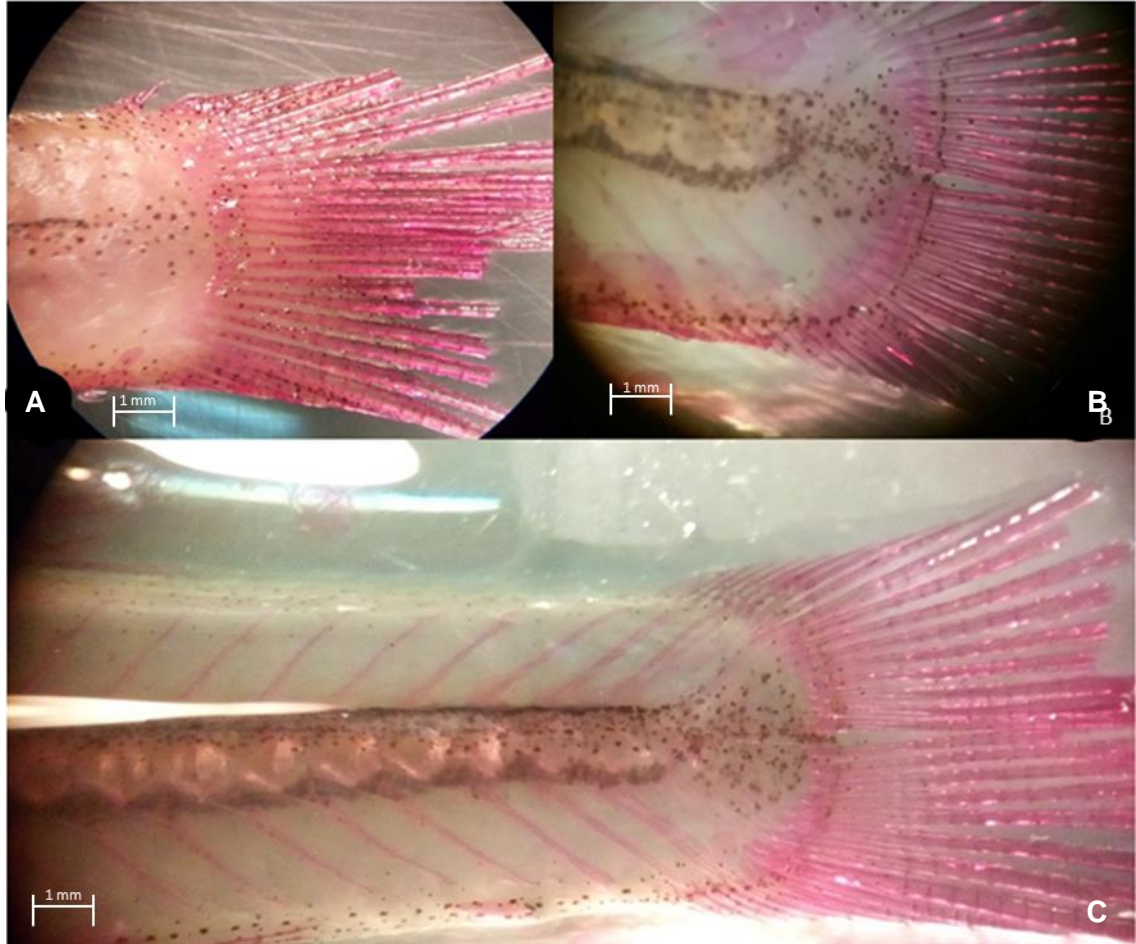


Figura 52: Aletas caudales de los charales de Chapultepec, en B se puede observar el inicio del proceso de diafanización, el salpullido de partículas de metales pesados, y la destrucción de la aleta caudal, C se observa la deformación y desviación hacia abajo de la columna vertebral, la acumulación de metales en la columna y primero el acortamiento del urostilo, la transparencia de los huesos epurales e hipurales y la sobre distribución de los radios en estos.

Es notable la presencia de los metales pesados en la imagen B, la zona de la aleta caudal se encuentra teñida con una coloración rosa tenue nuevamente (indicando la poca osificación), mostrando la permanencia de la línea lateral (B,C Y D); En la imagen B no es posible observa la placa hipural, únicamente se observan zonas punteadas, dando una apariencia de salpullido sobre el tejido muscular, cabe mencionar que esta imagen fue tomada en la primera observación al microscopio del organismo, no se realizó intervención manual para retirar musculo .Para la imagen C se nota la placa hipural, así como las espinas neurales y hemales, esto es posible gracias a que se le retiro tejido al organismo,



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

nuevamente es visible la presencia de zonas punteadas a lo largo de la zona caudal, la mayor acumulación de los metales se presenta en la placa hipural, la cual parece muy poco teñida, así como en la periferia de la vertebras, dando un aspecto escarchado y por ultimo a lo largo del organismo (línea lateral y porción dorsal y ventral), es muy notable también la separación de los radios en neurales y hemales.

como se mencionó con anterioridad la aleta caudal, esta sostenida por las últimas vertebras, las cuales son modificadas para dar paso a la aleta, es notable que en los mexcalpiques las vértebras anteriores a la aleta presentan una separación anormal entre ellas, además de que se observan acortadas y poco osificadas (indicada por la coloración tenue del organismo la placa hipural de *G.viviparus* se encuentra acortada y nuevamente descalcificada, otro aspecto relevante de estos organismos es el ensanchamiento de las ultimas espinas hipurales y epurales.

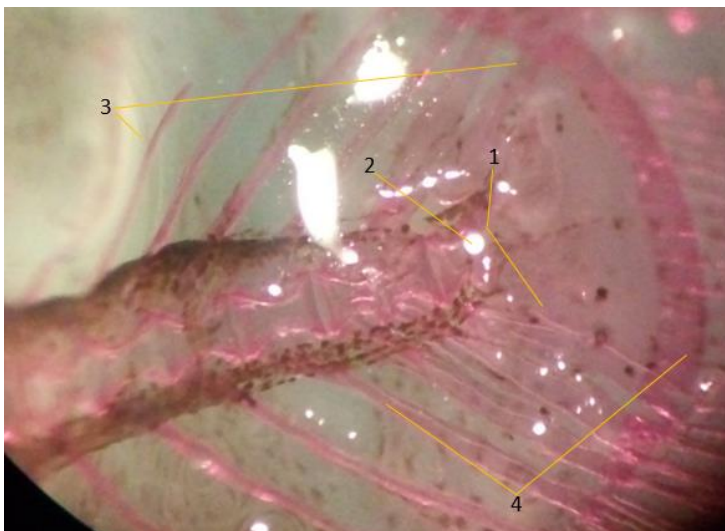


Figura 53.: Componentes de la Aleta caudal del Mexcalpilque: 1 (Placa hipural), 2 (centro compuesto), 3 (Radios epurales), 4 (Radios hipurales)



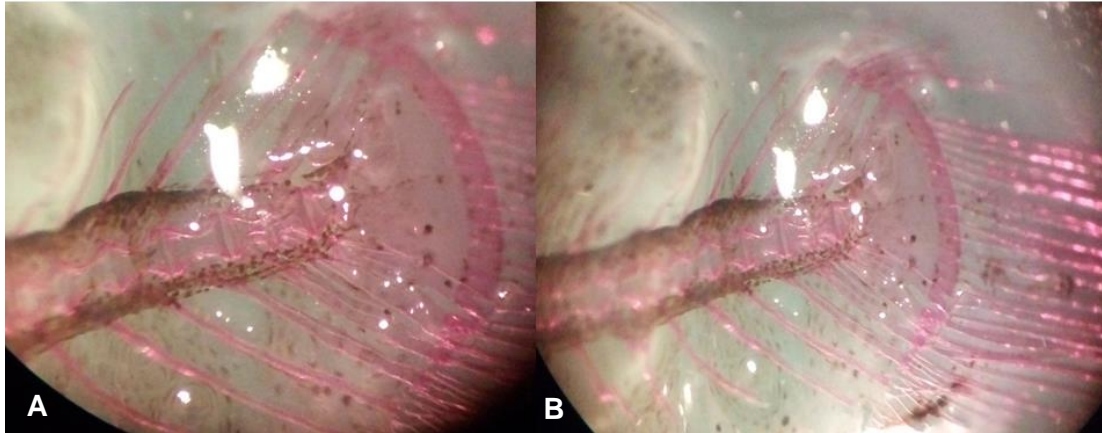


Figura 54: Aleta caudal de los Mexcalpiques con presencia de metales pesados, incremento de los radios que conforman la aleta y descalcificación extrema.

Como se puede observar en las dos imágenes anteriores, la aleta caudal presenta algunas modificaciones, la primera es que la concentración de los metales pesados sigue un patrón muy peculiar, asemejando al de una funda en las vértebras y acumulándose en la unión del cuerpo vertebral y las espinas hemales, también es notable el ensanchamiento de las últimas espinas; por otro lado es notable la placa hipural del organismo, y también es visible la presencia de las punteaduras de los metales sobre esta parte de la aleta, otro aspecto importante es el espacio anormal que existe entre la última y penúltima vértebra caudal, así como también la que se da en la penúltima y la antes de la antepenúltima. Por otro lado la forma de las vértebras es asimétrica, como se mencionó anteriormente estas deben ser como un reloj de arena y en estos organismos, que está más grande de un lado que del otro y por último mencionaremos nuevamente la coloración característica.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

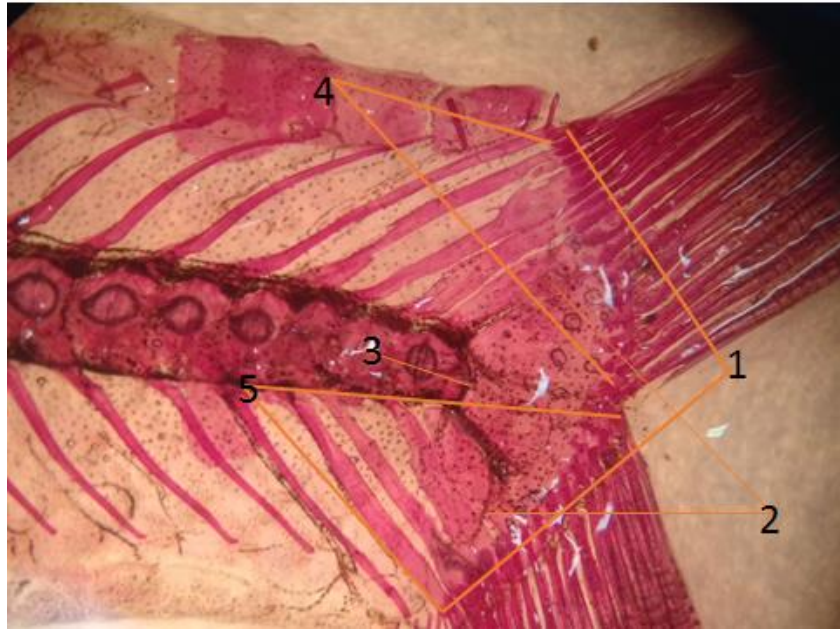


Figura 55: Componentes de la aleta caudal del organismo: 1 (Radios), 2 (Placa hipural), 3 (centro compuesto), 4 (Radios Neutrales) y 5 (Radios Hemales).

Es importante reafirmar como se insertan por encima y entre las vetebras los metales pesados a lo largo de la columna vertebral en las siguientes imágenes se ve como estos contaminantes rodean toda la columna y los musculos alrededor de las espinas tanto neural como hemales, en la aleta caudal, estos metales siguen se observan dentro dentro de los huesos del urostilo, como se observa en la siguiente imagen.



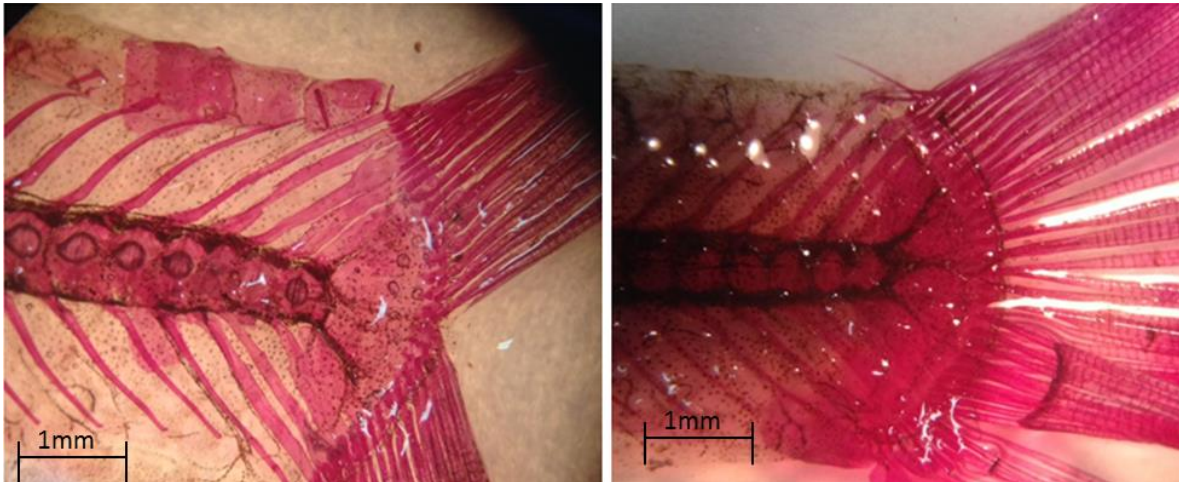


Figura 56: Aleta caudal de *G. atripinnis*.

La aleta caudal de estos organismos, aunque se encuentra osificada, es débil, los huesos epurales e hipurales son cortos para poder sostener a los radios tan largos y tan numerosos, detalle que llama la atención pues esta aleta es la que da el mayor impulso para el nado de los organismos. La placa hipural presenta una gran parte de acumulación de los metales pesados, sobre todo en los espacios epineurales, como se puede notar en la figura #, hay una deformación evidente en la última vertebra esto es natural pues se modifica para dar lugar al urostilo, lo que no es normal es que se cuente con dos espinas neurales cuando solo debería haber una como se ve en la parte hemal de la misma foto.

En algunos peces, la placa hipural tiene los huesos abombados como globosos, esto es muy extraño y podría explicar la razón del exceso de radios en la aleta así como el desplazamiento.



Escamas

Las escamas son estructuras de protección para los peces, estas derivan del mesodermo; existe una amplia gama de escamas, por ejemplo las cosmoideas, ganoideas, cicloideas y placoideas.

Las escamas que se presentan en los charales son de tipo cicloideas, las cuales carecen de esmalte, dentina y una capa de hueso esponjoso vascularizado. Solo permanece el hueso lamelar, acelular y no calcificado. Las escamas cicloideas o cicloides (circulares) se caracterizan por tener bordes lisos, sin hueso y están compuestas por una capa superficial de hidroxiapatita y carbonato de calcio, y una capa más profunda de colágeno.

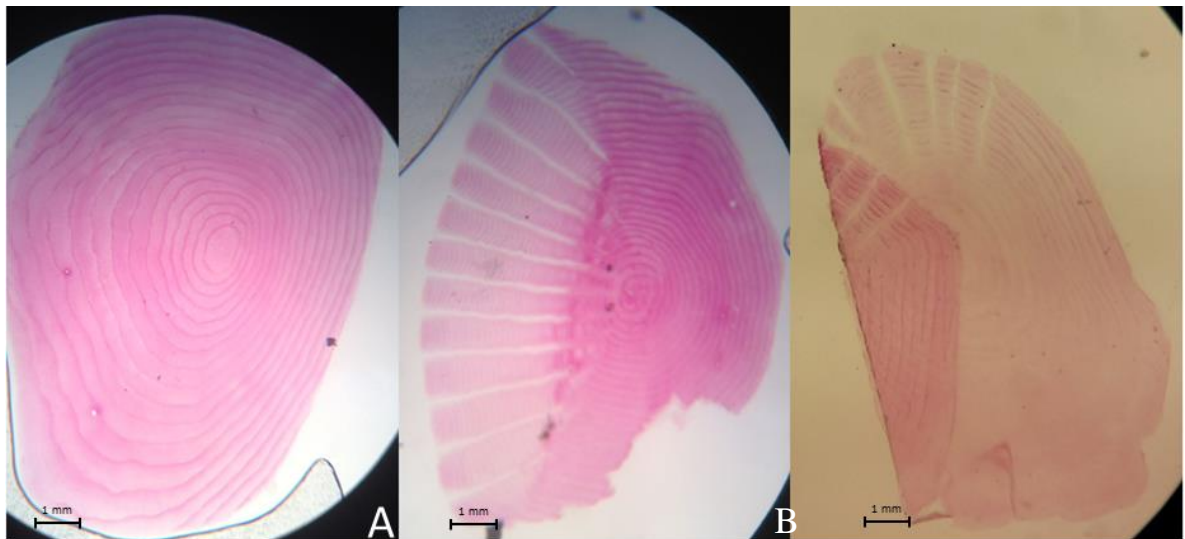


Figura 57 . Escamas de los charales A son escamas cicloideas de peces sanos proveniente del Lago de Texcoco, en la imagen B se observan las escamas obtenidas de los charales del lago de Chapultepec, las cuales se encuentran desgarradas casi en un 50%, adelgazadas, también se observa la coloración y desgaste.

Es muy visible también la coloración tenue de la escama en el caso de la imagen B, estas son pertenecientes a los organismos de Chapultepec, en estas escamas es visible también que en el lado derecho se presentan lóbulos, dando un aspecto de peine, y esto no aparece en la escama del charal de Texcoco (Imagen A), los



cortes presentes en las escamas de *C jordani* de Chapultepec son demasiado precisos, se piensa que esta deformación es la que permite que las escamas estén adheridas superficialmente a la piel del organismo, además de notarse delgadas y frágiles como se muestra en el dobles de la imagen B.

Las escamas que se presentan en los mexcalpiques también son cicloideas; en la siguiente imagen se compara entre una escama (cicloidea) de un charal, proveniente del Lago de Texcoco y la de un mexcalpique de Chapultepec, en este caso todas las escamas se desprendieron del cuerpo desde que se fijaron en formol y las pocas que se recuperaron se encuentran como se muestra en la imagen que se encuentra a la derecha, está prácticamente deshecha son muy delgadas y frágiles.

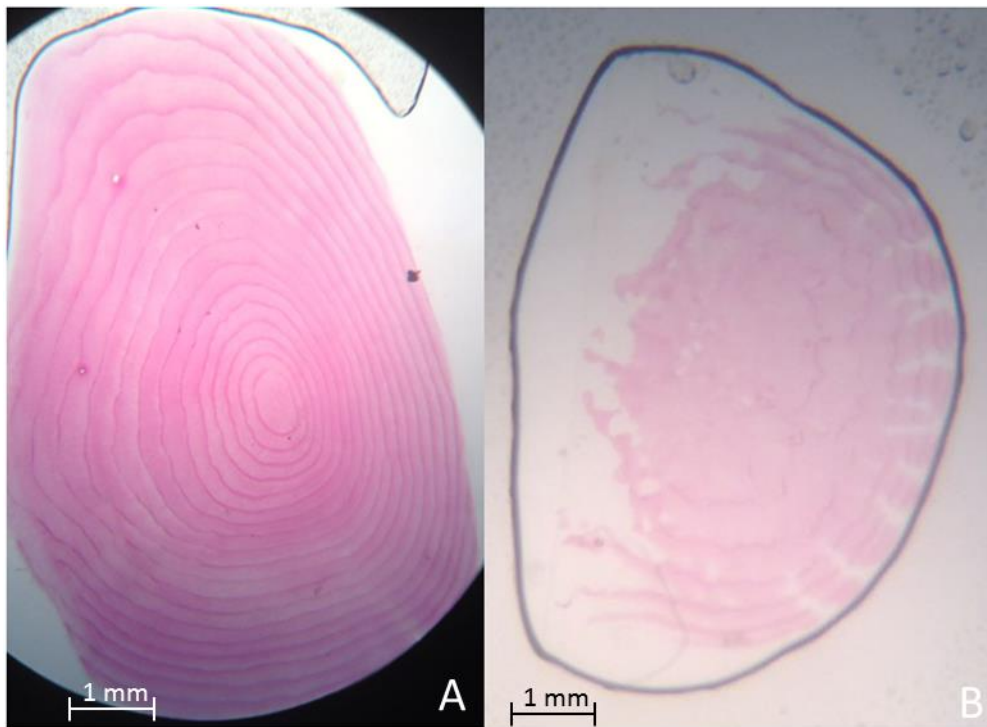


Figura. 58 En la imagen observar escamas cicloideas normales y en B las escamas de los Mexcapilques.

En la imagen B se observa la escama de los organismos de Chapultepec (Mexcalpique), la cual muestra unos lóbulos del lado izquierdo y presenta un aspecto de peine, por lo general las escamas cicloideas no tienen ninguna



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

lobulacion como se mencionó anteriormente, estas lobulaciones son anormales en las escamas, es por esto que las escamas se desprendieron con facilidad del organismo, los anillos de crecimiento son poco visibles y también se puede notar la poca osificación de la escama en comparación con la Cicloidea normal del ejemplar de *C.jordani*.

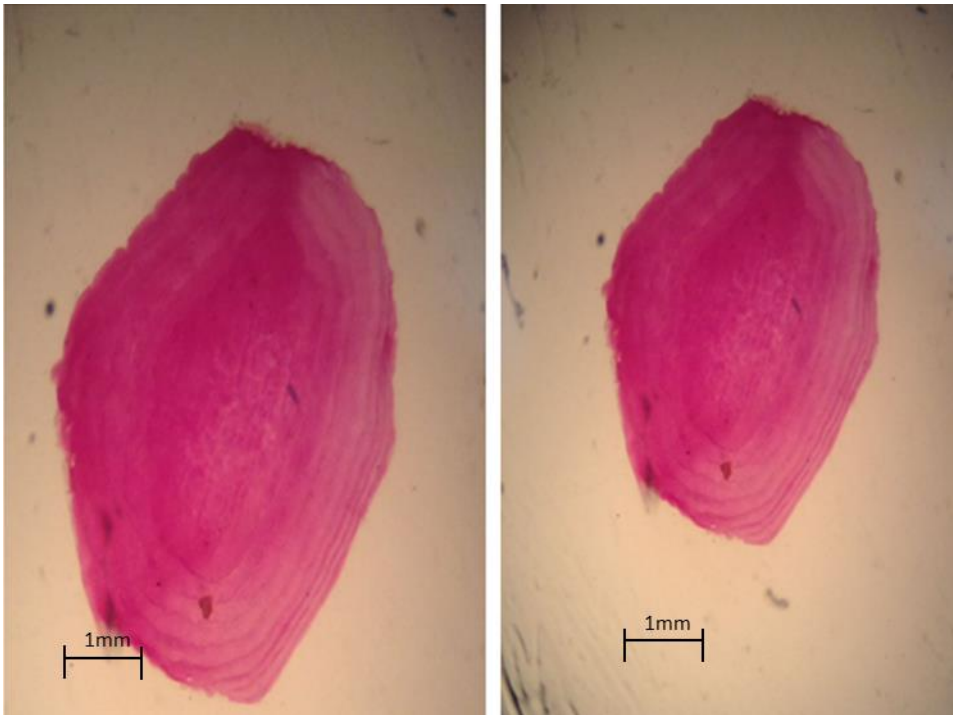


Figura 59: Escamas cicloideas de *G. atripinnis*, observadas al microscopio óptico, en un aumento de 10X.

Las escamas del pez tiro también son cicloideas, algunas veces estas son usadas para calcular la edad de los organismos, por los anillos que presentan, ya que el organismo no muda escamas, simplemente estas crecen con él; en este caso, podemos observar cuan teñidas se encuentran estas escamas propias de *G. atripinnis*, las cuales no permiten ver los anillos del centro, las escamas de estos organismos fueron retiradas con mucha facilidad del cuerpo, además presentaron una tinción muy rápida.



Comparación Anatómica entre Charales (*C.jordani*), Mexcapilques (*G.viviparus*) y Pez tiro (*Goodea atripinnis*)



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

Antes de comenzar con la comparación entre las tres especies de peces, es importante recalcar que para la comparación se tomó como parámetro de comparación a organismos pertenecientes al lago de Texcoco, de la especie *Chirostoma jordani*, los cuales fueron procesados de igual manera que los organismos de Chapultepec, así como también a charales (*C.jordani*) de criadero, los cuales también serán utilizados en esta comparación.

La comparación de los organismos iniciara con el cráneo, la columna vertebral, las costillas, las aletas y concluyendo con las escamas.

Cráneo

Es importante recordar que la comparación de los cráneos iniciara en vista dorsal, ventral y lateral, el orden de presentación para los organismos se inicia con los charales de Texcoco (T), Chapultepec(C), los charales de criadero (CC), Mexcalpiques (M) y Pez Tiro (G).



Figura 60: Cráneos en vista dorsal de T (*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec).



La comparación se iniciara con *C.jordani* de Texcoco (T), el cráneo de los peces es ligeramente acortado y ensanchado, como se aprecia en la imagen #, los nasales se encuentran separados y bastante definidos, además de que los orbitales ocupan una gran parte del cráneo, el canal sensorial no se encuentra definido, el etmoides medio se encuentra ensanchado y los laterales no están bien definidos, los huesos frontales son muy notorios, ya que se están reducidos y presentan una forma más redonda, el supra occipital y el epioccipital del organismo no son visibles.

A diferencia de los charales de Chapultepec (Imagen C) los nasales se encuentran reducidos y también están bastante bien definidos, los orbitales están ocupando una gran parte del cráneo al igual que en el ejemplar de Texcoco, el canal sensorial se encuentra interrumpido y no es visible, el etmoides medio esta alargado y adelgazado en comparación con el otro ejemplar, los laterales se presentan muy reducidos y son poco visibles, los frontales se presentan abombados y ensanchados, el supra occipital se muestra acortado y ensanchado y el epioccipital se encuentra reducido. Cabe mencionar que la acumulación de los contaminantes de los organismos

En el caso de los ejemplares de Criadero (imagen CC) los nasales se encuentran bien definidos al igual que los otros dos organismos, los orbitales son visibles y de gran tamaño como se ha venido observando en los demás charales, nuevamente el canal sensorial no es observable, por el lado de los etmoides, el medio se encuentra alargado y estas menos ensanchado a comparación de los otros dos organismos, los laterales están bien definidos y un poco alargados, para el caso de los frontales a diferencia del organismo de Texcoco y de Chapultepec, estos se encuentran reducidos y un poco alargados hacia los bordes, el supra occipital y el epioccipital no son visibles.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

En los mexcalpiques los nasales no son visibles a diferencia de los otros organismos, los orbitales ocupan un gran tamaño en el cráneo, al igual que en los otros organismos, al igual que en los otros el canal sensoria no es visible completamente, ya que se encuentra interrumpido, el etmoides medio se encuentra alargado y adelgazado, así como muy prolongado hacia el morro, los etmoides laterales se pueden ver reducidos de igual manera que en los charales, en el caso de los frontales se encuentran reducidos y comprimidos, a diferencia de los otros organismos, al igual que en los otros organismos el epioccipital se presenta reducido y achatado al igual que el supra occipital.

En los ejemplares de *G.atripinnis* no se puede observar ni los nasales, los orbitales ni el canal sensorial, esto es debido a la inflamación presente en estos organismos, la cual como se mencionó con anterioridad es probablemente debida a la presencias de parásitos en el cerebro, lo cual está relacionado con los otros organismos, debido a que en los estudios realizados sobre los parásitos se detectó la presencia de estos microorganismos, los huesos que son visibles son los frontales, tanto derechos como izquierdos, los cuales se presentan alargados y ensanchados a diferencia de los otros peces, los supra y epioccipitales tampoco son visibles debido a la inflamación mencionada.



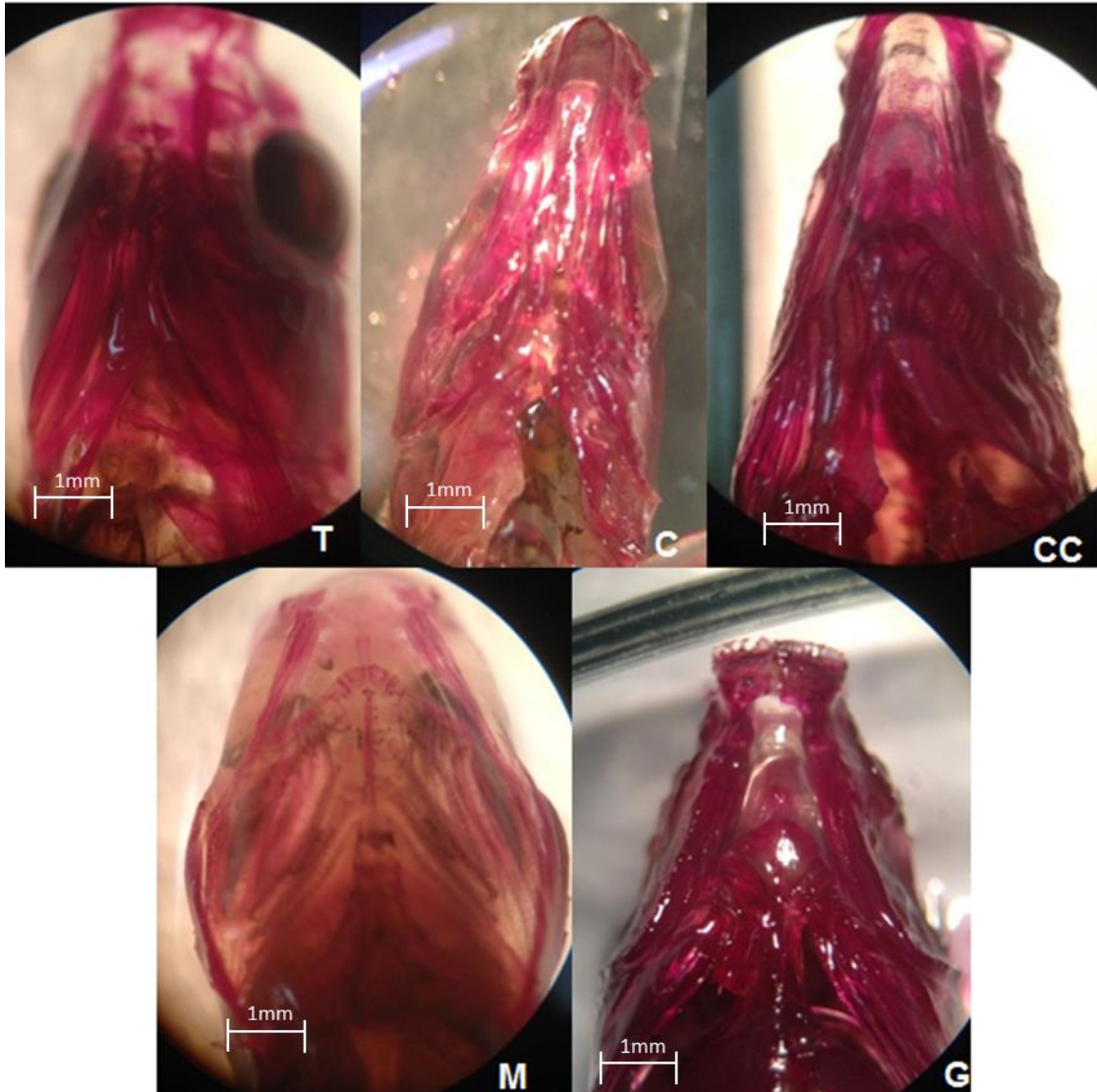


Figura 61: Cráneos en vista ventral de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec).

En el caso de los charales de Texcoco podemos observar que los arcos branquiales se encuentran hacia abajo y el pre maxilar se encuentra completamente extendido, además de que la coloración es muy notoria. En los charales de Chapultepec podemos observar que hay un desplazamiento hacia adelante de los arcos branquiales y del hueso hioides que sostiene a la lengua, esto es anormal en los charales. El ensanchamiento anormal del dentario, está implicado por el empuje de los arcos branquiales, los cuales se localizan en una



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

posición más adelantada de lo normal, hace que la mandíbula se desplace hacia arriba, cambiando el tipo de boca de estos animales, lo normal en la posición de la boca para los charales es encontrarla terminal y en este caso la posición cambia a superior, quizás por esta razón mucho de los metales pesados se depositen en esta zona, En los charales de criadero, se observa que los arcos branquiales se encuentran desplazados hacia atrás, así como también es notorio que el pre maxilar se encuentra extendido en su totalidad. En el caso de los Mexcapilques (imagen M) podemos observar que al igual que en los charales se observa un desplazamiento de los arcos branquiales hacia adelante, en este caso el hueso hioides se encuentra reducido y ensanchado, el dentario se encuentra de igual manera ensanchado, produciendo el desplazamiento ya mencionado, y como consecuencia modificar también la postura de la boca en ambos organismos.

En el pez tiro (Imagen G) es visible la presencia de un dentario en esta especie, podemos notar que los arcos branquiales se encuentran en la parte baja del cráneo, su tamaño es realmente proporcional al cuerpo, es muy visible también la coloración morada-rojiza que se presentan en estos organismos, esto nos da pauta para mencionar que estos organismos presentan un esplanocráneo bastante osificado.



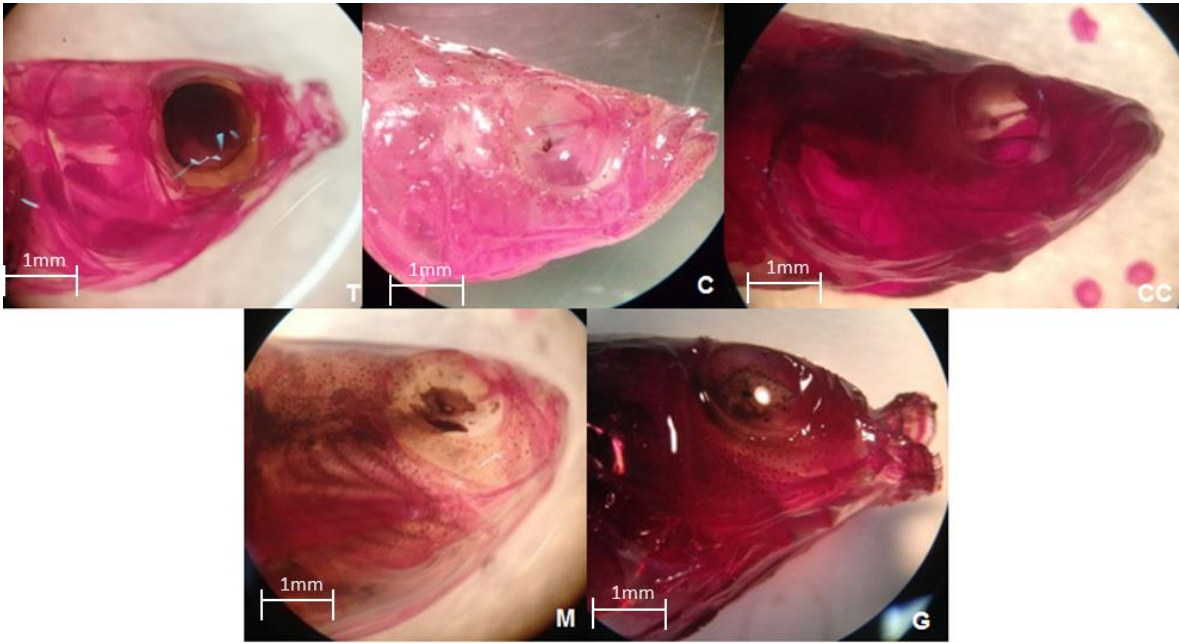


Figura 62: Cráneos en vista lateral derecha de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec).

En la primera imagen, correspondiente al charal de Texcoco podemos observar que el hueso supra occipital no es muy notorio, además de que es muy notoria la coloración café presente en el orbital del organismo, usualmente cuando los ojos son retirados de un organismo diafanizado el orbital queda limpio, como puede observarse en los otros peces, pero en este caso, el orbital presenta una capa de color oscura que impide la observación del hueso para esfenoides. En el caso de los charales de Chapultepec podemos observar que existe una concentración de los metales pesados en la zona del supra occipital, es notable que el hueso pre opercular se ve alargado y adelgazado, la cavidad ocular se presenta, el hueso maxilar se ve acortado y teñido de un color muy tenue, en el caso de los orbitales se observa presencia de metales al interior de este, los cuales empiezan desde la zona del supra occipital hasta el rinosfenoides. En el caso de los Mexcapilques, se observa de igual manera que la mayor zona de concentración se da en el supra occipital, el hueso opercular esta ensanchado y achatado, pero es muy notable, de igual manera el preopérculo se encuentra alargado y adelgazado, en el caso del



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

maxilar se puede observar que esta desplazado hacia arriba junto con el dentario, produciendo así la modificación de la posición de la boca. Para *G. atripinnis* se observa que en la región ocular se presenta un patrón de punteas duras oscuras que rodea la cavidad, como ya se sabe las punteas duras son los contaminantes adheridos al hueso; cabe mencionar que los metales se encuentran añadidos en distintas zonas de la cavidad; la osificación de los huesos del cráneo es alta, como se ha venido mencionado. Los huesos esfenoticos de los organismos se observan ensanchados y con metales adheridos, al igual que los para esfenoides, dermoesfenotico y orbito esfenoides, el dermoetmoides se observa acortado y un poco abombado, los pre-maxilares y maxilar se observan bien desarrollados y bastante osificados como el resto del cráneo, el preopérculo se muestra acortado y ensanchado.

Columna vertebral

La columna vertebral de los organismos se presenta en vista ventral:

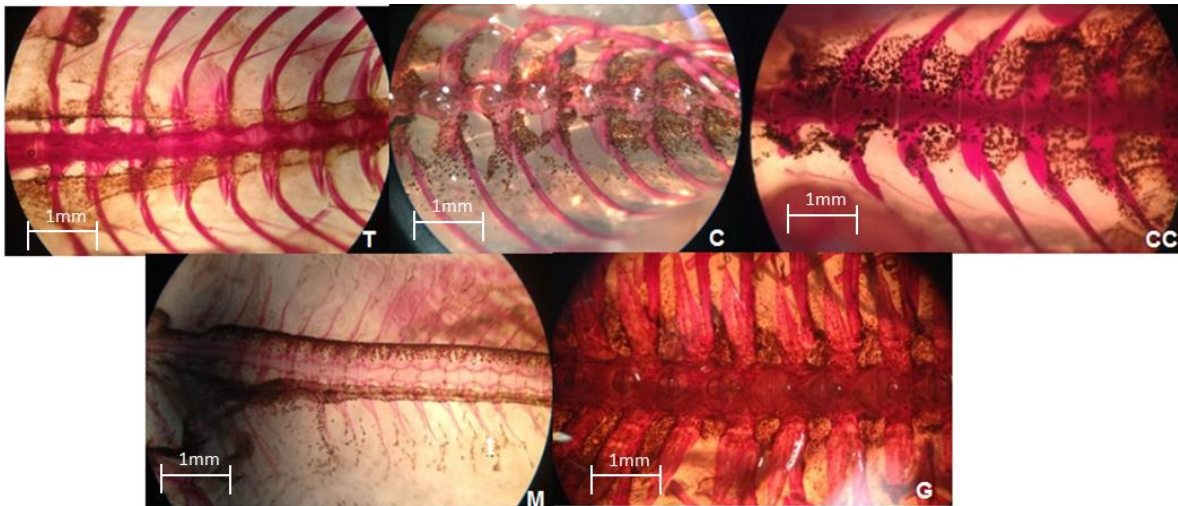


Figura 66: Columna vertebral en vista ventral de T(*Chiostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)



En la columna vertebral del charal de Texcoco (imagen T) podemos observar una coloración rojiza en todo el cuerpo vertebral, así como en las costillas, por otro lado también es notable la presencia de una capa café rodeando las vértebras, además es visible una bifurcación a ambos lados del cuerpo vertebral, esta presenta una forma alargada y bien teñida, además de que es notable una pequeña cresta sobre ellas, la unión de las costillas al cuerpo vertebral se encuentra adelgazada, así como también es notable que las vértebras no está bien definidas y su coloración es oscura y . En el caso de los charales de Chapultepec (imagen C) podemos observar que las vértebras se encuentran abombadas y la coloración se presenta en el borde de las vértebras , la unión de las costillas con el cuerpo vertebral se observa desplazada hacia el centro del cuerpo vertebral, al igual que en los charales de Texcoco, se observa una bifurcación, esta esta alargada y transparente hacia el centro y la coloración se presenta en el borde de la misma, en estos organismos, podemos observar que existe una gran acumulación de los contaminantes, los cuales se muestran adheridos al hueso y al musculo. En los charales de criadero (imagen CC) podemos observar que las vértebras tiene una forma asimétrica, es decir que se encuentran más grandes de un lado que del otro, también es importante mencionar la coloración que presentan, ya que como se mencionó anteriormente, sabemos que se encuentran bien osificados, es de relevancia también la capa de contaminantes que se presentan adheridos en la columna, estos se encuentran sobre el musculo y sobre el hueso, como sucede en los charales de Chapultepec. En el caso de los Mexcalpiques se presentó un patrón muy peculiar de acumulación de los metales pesados, como se observa en la imagen M, la acumulación de los metales genera un aspecto de funda en las vértebras, además es importante mencionar que estas se observan transparente hacia el interior y teñidas solo en la periferia, lo que les da un aspecto de cristal. En *G. atripinnis* (imagen G) podemos observar que se presentan acumulados en el proceso vertebral, además de encontrarse adheridos a las espinas vertebrales, las cuales se observan muy alargadas y puntea duras, es notable también que la coloración de las prolongaciones es más tenue que la coloración de las vértebras, las



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

vértebras se observan asimétricas, siendo más grande a un lado y más acortados en otro, las vértebras presentan una forma distinta, de acuerdo a la posición de donde se obtuvieron, las cervicales presentan un canal neural más amplio y su tamaño es mayor, debido a que dan sostén al cráneo del organismo, las torácicas muestran un mayor ensanchamiento de las espinas, esto debido a que darán sostén a las costillas, que formaran la caja torácica, por otro lado las vértebras caudales, podemos observar que las espinas neurales y hemales se encuentran alargadas, estas se modifican para dar sostén a la aleta caudal, la cual brinda movilidad al organismo. La columna vertebral es una zona de acumulación de los metales pesados, notamos que estos se encuentran adheridos al hueso, generalmente al canal neural y al musculo de los peces

Vértebras de la región pre caudal.(cercanas al cráneo)

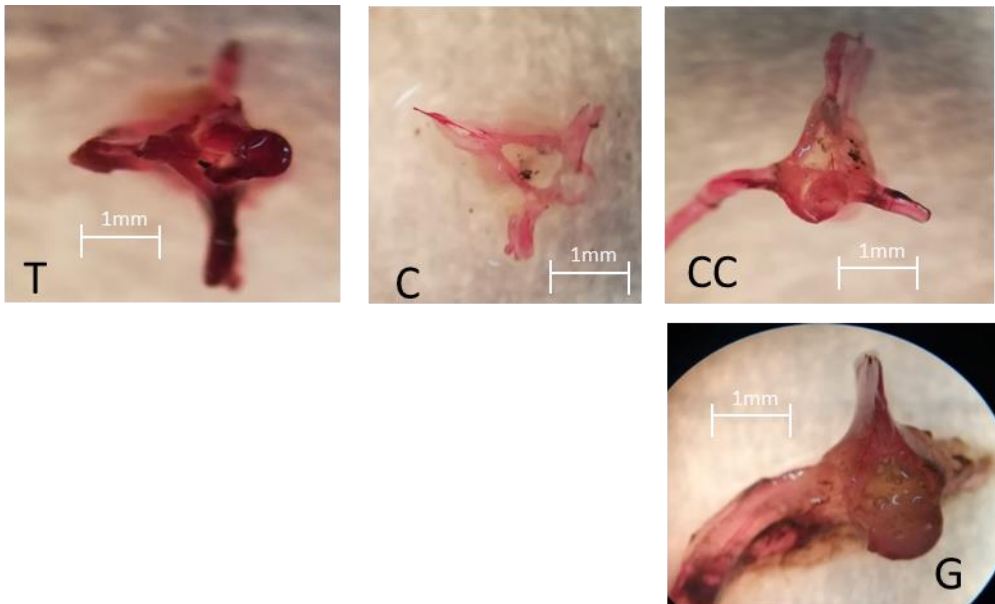


Figura 67: Vértebras cervicales de T (*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)



Vertebras de la región pre caudal (en la caja torácica)

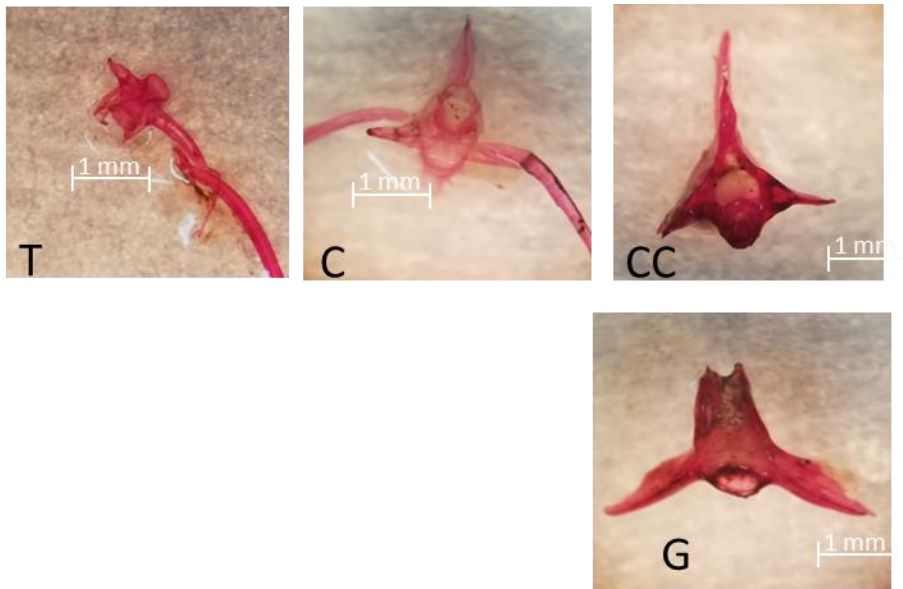


Figura 68: Vertebras torácicas de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)

Vertebras caudales

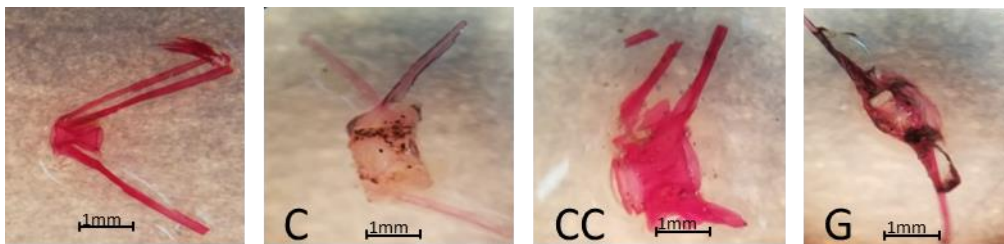


Figura 69 : Vertebras torácicas de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)



Costillas

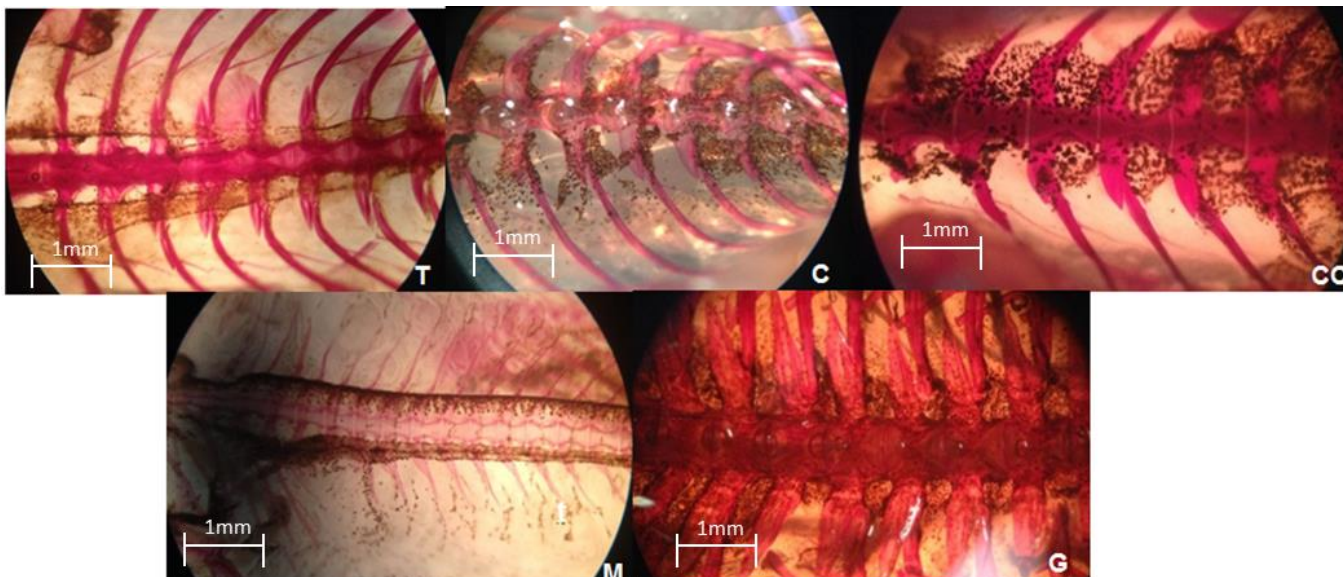


Figura 70: Costillas de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)

En el caso de las costillas de los charales de Texcoco se encuentran osificadas pero, están adelgazadas, en los charales de Chapultepec (imagen C) se nota que las costillas se encuentran poco osificadas y tiene una apariencia de cristal, también se observan adelgazadas y alargadas, así como también presentan contaminantes adheridos; los charales de criadero(imagen CC) presentan las costillas más alargadas y adelgazadas, así como bastante osificadas y como se mencionó con anterioridad también es notable la acumulación de contaminantes que presentan. En los Mexcalpiques (imagen M) se presenta el adelgazamiento de las costillas, así como también su alargamiento y su poca osificación, para *G. atripinnis* (imagen G) se presentan a las costillas como una zona de acumulación de los contaminantes, además de que se pueden observar teñidas y adelgazadas



Aleta dorsal

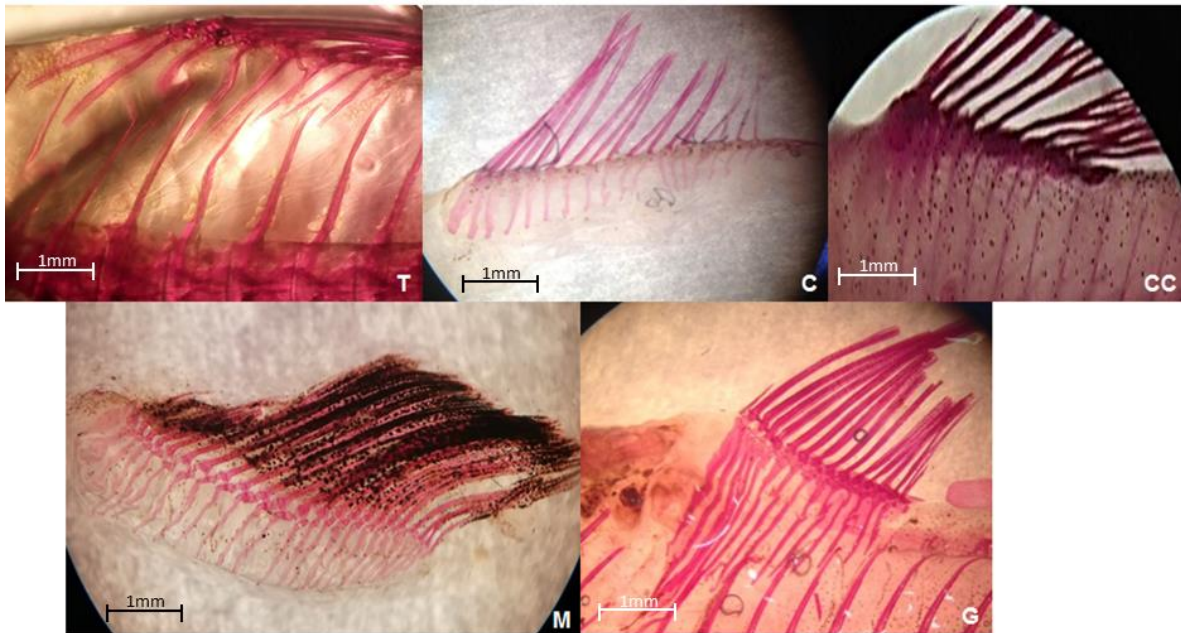


Figura 71: Aletas dorsales (*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec).

En los charales de Texcoco (imagen T) se nota que los pterigóforos están desplazados, se sabe que estos deben corresponder a un para por espina, pero en este se presentan 2 o más por espina, es notable también la coloración que esta presenta. En los charales de Chapultepec (imagen C) es notable que la aleta dorsal presenta nuevamente una coloración rosa tenue, esta coloración abarca desde los radios dorsales hasta los Pterigóforos basales, es visible también el ensanchamiento de las primeras espinas de la aleta, es notable también la aparición de los puntos negros adheridos a la zona de los pterigóforos y presentes en algunos radios dorsales, pero no en el resto de la aleta. En los charales de criadero (imagen CC) es visible que al igual que en los de Chapultepec los pterigóforos se encuentran desplazados, así como también la presencia de contaminantes en el musculo. Por otro lado, algo muy notorio en la aleta dorsal del Mexcalpiques (imagen M) es la concentración de los contaminantes en los radios, a diferencia de los charales, que no presentan acumulación de contaminantes en esta zona, al igual que los charales se presente



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

nuevamente la coloración mencionada con anterioridad, otra de las diferencias muy marcadas es que en los charales se presenta dos dorsales y en los Mexcapilques solamente una. Se puede observar también que las espinas de la aleta, son alargadas y delgadas, cada espina está colocada con un pterigóforos.

Otro aspecto llamativo también es la coloración más oscura de los pterigóforos basales y distales, la coloración más intensa se observa al centro de estos, a diferencia de los charales la coloración de los pterigóforos en estos es homogénea, es notable también que la forma de los pterigóforos no es homogénea, los primeros se encuentran un poco más alargados y engrosados y los del medio se encuentran mucho más pequeños y adelgazados y el caso contrario se da en los charales.

En *G. atripinnis* (imagen G) la aleta dorsal de estos organismos se presenta bastante osificada, pero es muy notable también que existe un desfase en los pterigóforos de las aletas, en este caso podemos observar que se presentan de 2 – 4 pterigóforos por espina y además del adelgazamiento de los mismo, así como también el desfase que presentan, se observa que los huesos de la aleta se encuentran bastante osificados, debido a la coloración que presenta.



Aleta pectoral

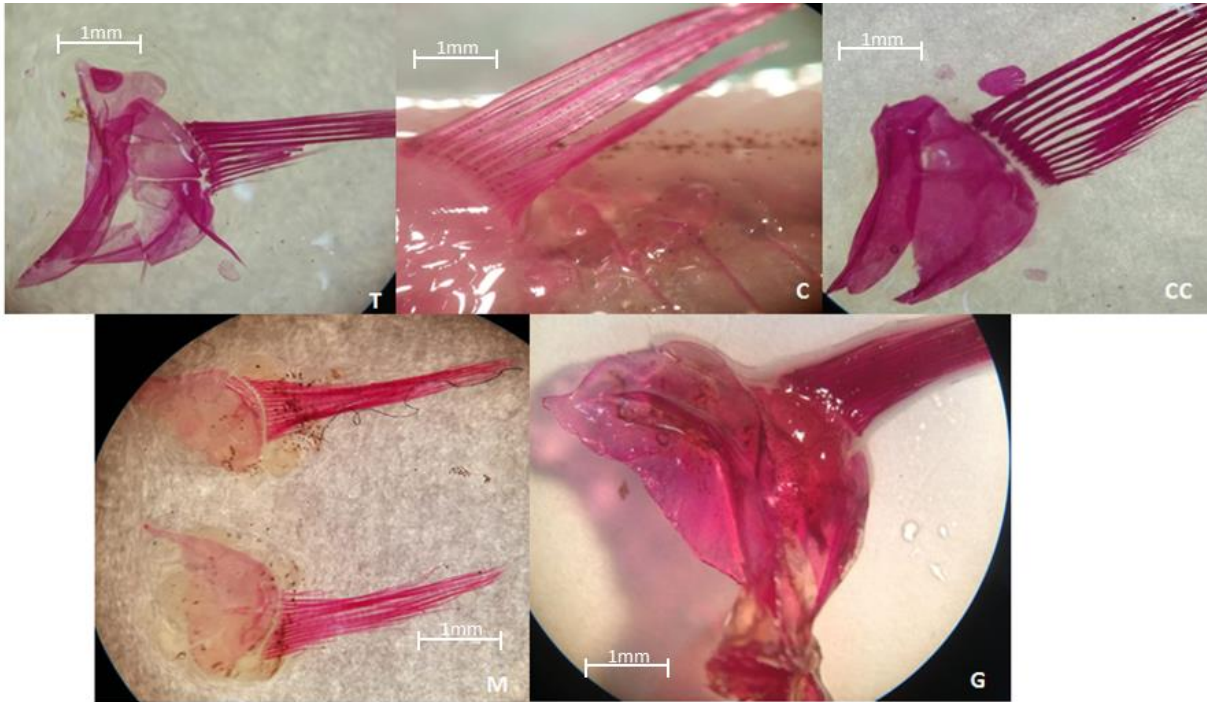


Figura 72: Aletas pectorales de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)

La aleta pectoral de los charales de Texcoco (imagen T) permite observar que el cleitrum está acortado y redondeado, además de que los actinosteos se encuentran bien definidos y se observan ensanchados y grandes, los radios se encuentran muy teñidos, al igual que el resto de la aleta. En el caso de los organismos de Chapultepec (imagen C) se observa en las aletas pectorales de los Charales que existe un gradiente de coloración, podemos ver que la mayor coloración se presenta en el margen del centrum, dejando al interior de esta pieza ósea un aspecto de cristal, es visible también que la segmentación de los radios no es aparente, es notable también en el caso del centrum se encuentra alargado, el hueso pos temporal se encuentra achatado y abombado, el supracleitrum se observa reducido y alargado. En el caso de los Mexcalpiques se observa que por



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

el contrario el cleitrum es más achatado y más abombada, el hueso pos temporal se encuentra muy alargado y adelgazado, el coracoides se encuentra reducido de igual manera. Los actinosteo son visibles y se observan alargados y un poco adelgazados, la segmentación de los radios no es visible, pero la coloración de estos es mucho más intensa que el resto de la aleta, la coloración tenue es nuevamente redundante. Otro detalle observable es que la concentración de los metales no se encuentra adherida al hueso, si no que estos están adheridos al tejido muscular. En el caso de *G.atrpinnis* las aletas pectorales de estos organismos presentan una osificación alta, como se ha venido mencionando, así como también es visible que en algunos puntos de la aleta, se presentan manchas oscuras, posiblemente debidas a los contaminantes, las aletas pectorales presentan un gran tamaño, por otro lado podemos observar que presentan grandes radios, muy teñidos un cleitrum bastante abombado y ensanchado, los actinosteos se pueden observar a simple vista, debido a su gran tamaño y por último la zona del coracoides nos muestra una pequeña punteadura de posibles contaminantes.

Aletas pélvicas

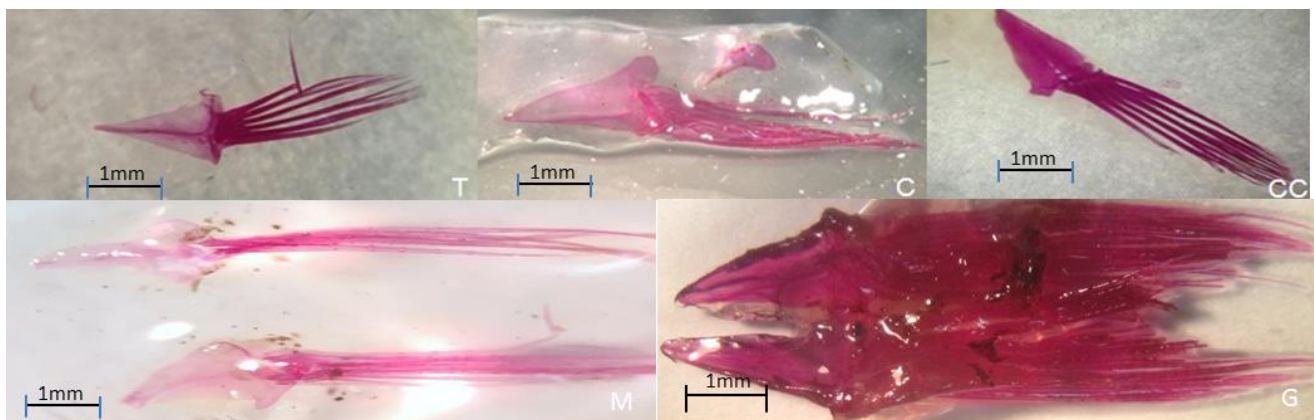


Figura 73: Aletas pélvicas de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)



Las aletas pélvicas de los charales de Texcoco (imagen T) nos muestran que el cleitrum se presenta alargado y osificado en la periferia y al centro se observa una coloración más tenue, la segmentación de los radios no es visible. Las aletas pélvicas de los charales de Chapultepec (imagen C) permiten observar que no existen residuos de los metales pesados, en esta cintura existe la presencia de una espina pélvica, la cual se observa delgada y teñida con un color rosa tenue, de igual manera la segmentación de los radios no es visible, se observa que la forma del cleitrum es ensanchada y achatada, así como también el hueso pos temporal se presenta reducido y achatado, para el caso del coracoides presenta una forma alargada. En los charales de criadero (Imagen CC) es notable la tinción de la misma, y los demás componentes de la aleta no son visibles. En las aletas de los Mexcapilques por el contrario es una de las zonas con mayor acumulación de los contaminantes. La cintura pélvica de *G. atripinnis* (Imagen G) nos muestra nuevamente la coloración rojiza anteriormente mencionada, es posible notar que en los restos de musculatura de las aletas se presentan coloración oscuras, posiblemente debidas a la presencia de los metales, las aletas son de gran tamaño, la segmentación de los radios no es observable en todos, podemos observar que el cleitrum se encuentra es alargada y un poco adelgazada, además que el pos temporal se observa reducido y acortado.



Aletas caudales

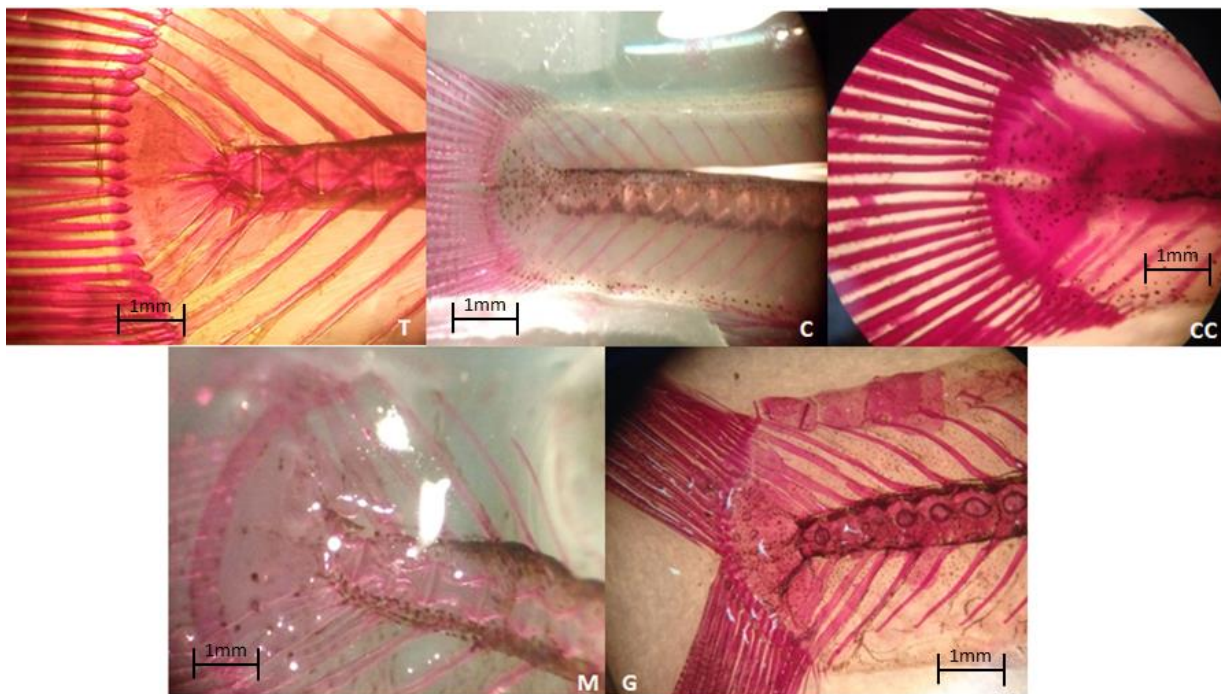


Figura 74: Aletas caudales de T(*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)

En los organismos de Texcoco (imagen T) podemos observar que la placa hipural se encuentra bastante teñida, así como las espinas que dan lugar a la misma, por otro lado es visible también un espacio entre la última vertebra y la placa hipural, en los charales de Chapultepec (imagen C) podemos observar la presencia de los puntos oscuros (metales pesados) la zona de la aleta caudal se encuentra teñida con una coloración rosa tenue nuevamente (indicando la poca osificación), mostrando la permanencia de la línea lateral, no es posible observa la placa hipural, únicamente se observan zonas punteadas, dando una apariencia de salpullido sobre el tejido muscular, siendo la placa hipural la zona con mayor acumulación de los metales, es muy notable también la separación de los radios en neurales y hemales. En los organismos provenientes de criadero (imagen CC) observamos que la placa hipural presenta una división, a partir de donde se



segmentan los radios neurales y hemales, la coloración que se presenta nos indica la buena osificación de la misma, esta división que se presenta en la placa hipural no es común, también cabe mencionar la presencia de los contaminantes a lo largo del tejido muscular. Para el caso de los Mexcapilques la presencia de los contaminantes es visible, pero esto tiene un patrón distinto de acumulación, aquí se concentran alrededor de las vértebras, y por el contrario a los charales esta es la zona con mayor acumulación, dejando a la placa hipural casi limpia, también es visible el ensanchamiento de los radios hemales. En *Goodea* (imagen G) la aleta caudal de estos organismos, muestra una clara osificación, aquí podemos observar de primera instancia que la placa hipural presenta una gran parte de acumulación de los metales pesados, además de que se observa la acumulación que existe en los espacios neurales de las vértebras y el desplazamiento de las espinas, si observamos la imagen A podemos ver que de la última vertebra caudal se desprende una línea muy oscura (metales pesados) que se extiende y baja hacia la placa hipural, donde se acumulan, también es notable que las ultimas espinas tanto neurales como hemales presentan una modificación, esto para dar paso a la placa; se observa también que existe una mala distribución de los pterigóforos tanto neurales como hemales .



Escamas

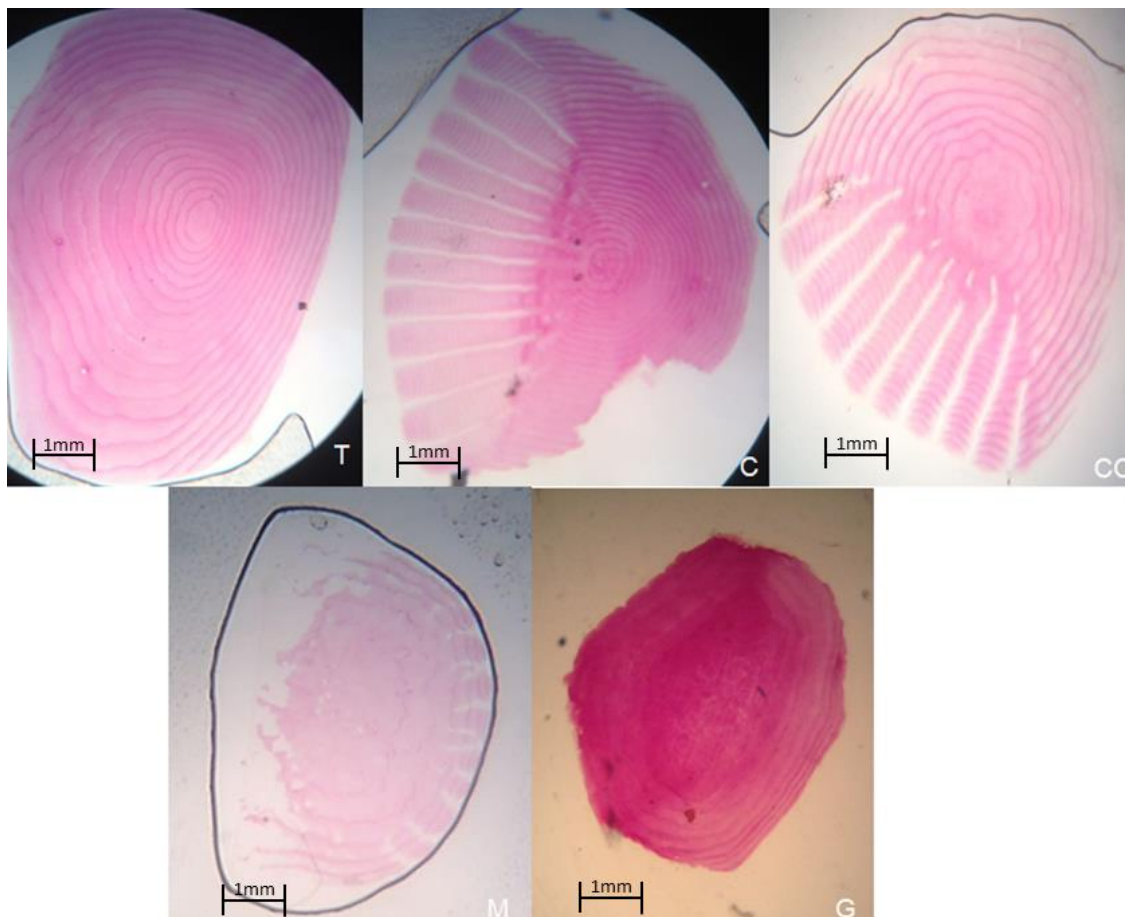


Figura 75: Escamas de T (*Chirostoma jordani* de Texcoco), C(*C. jordani* de Chapultepec), CC(charal de criadero de Chapultepec), M(Mexcalpique) y G(*Goodea atripinnis* de Chapultepec)

La coloración es un detalle muy visible, podemos observar que en la imagen T, la coloración es rosa obscuro, esta pertenece a un charal del lago de Texcoco, esta es la forma normal de una escama cicloidea, en el caso de la imagen C se observa una escama perteneciente a los charales de Chapultepec, en esta se observa que las líneas de crecimiento son interrumpidas por unos cortes, los cuales se asemejan a un peine, es notable también el cambio de coloración que se da entre esta parte de la escama y el centro de esta, en la imagen CC se presenta la escama correspondiente a los charales de criadero, la cual se asemeja mucho a la



del charal de Chapultepec, ya que de igual manera es cicloidea pero los anillos de crecimiento se presentan interrumpidos por esos cortes.

En el caso de los Mexcalpiques (imagen M) la coloración presente es totalmente pálida, al igual que los charales se presenta lobulaciones que interrumpen las líneas de crecimiento de la escama, pero en este caso la se puede observar que los lóbulos formados son más achatados y ensanchados y solamente se presentan en una sección de la escama; se piensa que estos peines generados en la superficie de la escama permiten que se encuentren superficiales en el organismo y que sean tan frágiles.

En la imagen G, se muestra la escama proveniente de *G. atripinnis*, la cual al igual que las anteriores es cicloidea, esta presenta una clara tinción, pero los anillos se pierden al centro de la misma.



DISCUSION

Los resultados del presente estudio arrojaron que para las tres especies de peces presentes en el lago existe bioacumulación de metales pesados, tanto en musculo como en hueso; cada una de los tres organismos presenta zonas particulares de bioacumulación, por ejemplo para los charales estas zonas son cráneo y columna vertebral, produciendo esto una serie de modificaciones a lo largo de todo el cuerpo de pez, en los Mexcalpiques las mayores zonas de bio acumulación se encuentra en cráneo, columna vertebral y aletas, y en el pez tiro los contaminantes de pueden observar en columna vertebral y costillas; cabe mencionar que en los tres organismos los metales pesados también se encontraron a tejido muscular. De acuerdo a lo mencionado con anterioridad la discusión comenzara con la técnica de diafanización, seguida de los parámetros fisicoquímicos y el estudio de parasitología de los peces del Lago de Chapultepec, continuara con la espectrofotometría realizada para los organismos, posteriormente se abordara la anatomía de las especies y finalizara con la bioacumulación en los peces.

Técnico.

La técnica de diafanización permite evidenciar el hueso, sin necesidad de retirar el tejido muscular, a través de una digestión alcalina con hidróxido y colorantes para teñir el hueso; rojo de alizarina debido a su afinidad por fosfatos de calcio y azul de alciano, para teñir el cartílago debido a su afinidad por la colágena.

A lo largo de la historia la técnica ha sufrido una serie de importantes modificaciones (Gersenowies y Sanchez, 2010), por mencionar algunas. Las bondades de esta técnica permiten realizar estudios de las malformaciones óseas, la bio acumulación de contaminantes, el desarrollo óseo de los organismos, entre otros.

El tiempo de diafanización fue corto; se sabe que esto es debido a la cantidad de grasa y musculo que presenta el organismo; la grasa es digerida por KOH,



sustancia alcalina que se vuelve corrosiva al disolverse con agua (Coronado, 2014). El tiempo de diafanización de los peces de Chapultepec fue de 72 hrs, lo que coincide con lo reportado por Rivera y colaboradores (2016), quienes mencionan que el tiempo de diafanización de los peces fue de 72 horas, por otro lado esto difiere de lo reportado por Oropeza (2012) y Ruvalcaba (2016) quienes mencionan que el tiempo de diafanización fue de 2 a 4 semanas; cabe mencionar que la técnica de diafanización no se encuentra estandarizada, es decir los tiempos en los que los organismos se diafanizan dependen de muchas variables, especie, edad, nutrición, calidad de los reactivos, entre otros.

La tinción de un organismo sano y diafanizado debe ser morada-rojiza, siendo esto un indicio de la osificación óptima del mismo; en los peces de Chapultepec se presentó una coloración rosa tenue, la cual permite asegurar que existe una descalcificación en el organismo, esto se infiere por dos razones, la primera es la tinción del organismo y la segunda es que al realizarse la espectrofotometría los niveles de Ca se encuentran muy bajos en los peces, si recordamos lo que se mencionó con anterioridad los metales pesados actúan como un neurotóxico, el cual inhibe la producción de vitamina D, la cual se encarga de la regulación homeostática del Calcio(Ca), lo que significa que permite la fijación de este mineral en el tejido óseo, siendo esto un especie de competencia, es decir: los metales pesados se encargan de inhibir la producción de esta vitamina y por lo tanto no existe fijación de Ca al tejido óseo y muscular, los metales pesados pueden adherirse de esta manera al tejido(Alvarez,2008).

La coloración presente en los peces del lago fue de un rosa tenue en el caso de los charales y Mexcalpiques y rojizo a morada para el caso de los peces tiro, como mencione esto puede deberse a muchas variables, sin embargo esto nos permite conocer que entre las tres especies existen diferencias tanto en la osificación de los organismos y por lo tanto en las zonas de bio acumulación.

La coloración presentada en los peces del lago de Chapultepec, difiere de algunos estudios realizados, por ejemplo: Ruvalcaba (2016) menciona que la coloración presentada en sus organismos fue morada rojiza, al igual que Rivera et al 2016,



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpíques y pez tiro del lago de Chapultepec

quien menciona que la tinción de sus organismos fue de un color rojizo intenso, Sánchez (2016) reporta de igual manera que la tinción de los organismos fue intensa; al igual que los trabajos anteriormente mencionados Oropeza (2012) reporto que sus organismos presentaron una coloración intensa.

De acuerdo a la literatura se conoce que la exposición a contaminantes como metales pesados y compuestos organoclorados son agentes causales de las malformaciones óseas, así como también de alterar la correcta mineralización del tejido óseo (Baxley et al., 1981, Scheuhammer, 1987, Andrews, 1989; Kanti & Smith, 1997; Lind et al.,1999). Dicho esto es importante mencionar que Alvarez,2008 reporta que si un organismo de vida relativamente prolongada, se encuentra expuesto a la ingestión de metales pesados, por ejemplo Pb, se afecta a largo plazo por la bioacumulación de metales pesados en el tejido óseo; actualmente se conocen pocos trabajos que hablen sobre bioacumulación en huesos, la mayoría de estos análisis se centran en órganos como agallas, hígado y riñones (Karadede-Akin y Ünlü, 2007 ; Rodríguez et al, 2012; García-de-Sotero y Alva-Astudillo,2013; Rajkowskay Protasowicki,2013; Leung y colaboradores,2014; Lozada-Zarate, Monks y Pulido-Flores(n/d)) solamente por mencionar algunos, cabe recalcar que todos estos estudios son realizados en especies de importancia comercial y netamente son estudios químicos, es decir todos estos análisis se han hecho con ayuda de espectrofotometrías, y como se mencionó antes es de vital importancia analizar el riñón, es casi un hecho que si los metales pesados se encuentran presentes en el riñón estarán en el resto del cuerpo y en esto consiste que los trabajos ya mencionados analicen únicamente órganos y musculo, es por ello que en este estudio se recurrió a una técnica anatómica como primera instancia, es decir buscamos conocer cómo es que los metales pesados se bio acumulan en los tejidos, como se ve y que están causando en el esqueleto del pez.



Estudio de Lago de Chapultepec.

Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos en los lagos de Chapultepec, describir cuales son y que al ser lagos artificiales cambian los parámetros significativamente arrojaron son de agua dulce, la salinidad oscila entre 0.25 y 0.41g/L, con una conductividad eléctrica que oscila entre los 500 $\mu\text{S/cm}$, la alcalinidad total es inferior a 150 mg CaCO_3/L , con durezas que no rebasan los 130 mg CaCO_3/L , el pH fluctúa en valores alcalino a muy alcalino (7.3 a 10.5), la carga iónica total es de 9.2 meq/L y dominancia iónica del agua (en meq/L) es: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \geq \text{HCO}_3^- \geq \text{CO}_3^{2-}$ para los aniones y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ para los cationes; todos los descriptores asociados con la mineralización muestran porcentajes de coeficientes de variación (CV%) por encima o muy por encima del 5% al 10%. Esto que significa para los peces, es adecuado como hábitat o no

La dureza (escasa a moderada, EPA 1986) como la reserva alcalina son bajas (bicarbonatos y carbonatos presentan valores inferiores a los de cloruros y sulfatos), lo que involucra una pobre capacidad amortiguadora de los cambios de pH. Es por ello que las aguas de los Lagos de Chapultepec presentan una aparente contradicción entre los pHs de alcalinos a muy alcalinos, con relativamente bajas reservas alcalinas (en general alrededor de o inferior a 100 mg CaCO_3/L).

Lo mencionado con anterioridad se comprende al observar las elevadas concentraciones de clorofila *a* en estos cuerpos de agua (reflejadas en los intensos florecimientos fitoplanctónicos), como indicadoras indirectas de altas tasas fotosintéticas; la fotosíntesis se acopla con el sistema de equilibrio carbónico-carbonatos (el principal componente de la reserva alcalina), lo que conlleva la transformación de CO_2 en materia orgánica, lo cual proceso que implica una importante basificación (hasta más de 10) de un pH que se esperaría antes –sin la intervención de la actividad biológica, contrario a lo que ocurre en los



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Lagos de Chapultepec- que oscilar alrededor de 7, o incluso algo menos (en consonancia con la relativamente baja reserva alcalina).

La reserva alcalina de los lagos de Chapultepec es escasa, y esta acoplada con los intensos florecimientos fitoplanctónicos (elevada fotosíntesis, por ende, consumo de CO₂), por lo que no puede compensar los cambios de pH; los procesos fotosintéticos superan a los asociados con la respiración, y se generan de esta manera los pHs observados básicos a muy básicos. A pHs más básicos, cercanos o superiores a 10, tal situación puede ser riesgosa para la fauna de los lagos (ver más adelante en este mismo informe), cuando a la par se encuentren concentraciones importantes de ion amonio (NH₄⁺, común asimismo en aguas cargadas de materia orgánica, como las de Chapultepec cuando bajan las concentraciones de oxígeno; EPA-CADDIS Volumen 2). Estos pHs básicos explican asimismo la presencia de carbonatos (CO₃²⁻), los cuales desaparecen a pHs cercanos a la neutralidad, o incluso ligera acidez, en favor de los bicarbonatos (HCO₃⁻).

Estudio de presencia de parásitos.

De acuerdo a los resultados obtenido el estudio parasitológico arrojo que tanto para *C.jordani* como *G.viviparus* y *G.atripinnis*, existe la presencia de parásitos (helmintos); A través del estudio helmintológico se recolectaron dos especies de helmintos: un adulto de *Schyzocotyle acheilognathi* y una larva de cestodo perteneciente a la familia Gryporhynchidae. De acuerdo al estudio se sabe que las cargas parasitarias son bajas, lo que hace pensar que los ciclos de vida de los parásitos no se están completando en las condiciones en las que se encuentra el hospedero.

Esto puede ser porque es un cuerpo de agua muy perturbado (como se mencionó con anterioridad, en los estudios previos es una discusión, por lo que es necesario



que refieras a autores) y por lo tanto los organismos que normalmente se encontrarían como hospederos intermediarios (p.ej., copépodos)

Han desaparecido, o las poblaciones de estas especies de copepodos, que son parte del ciclo de vida de los cestodos, no están presentes con la frecuencia esperada. Es necesario que se tengas elementos para la discusión en este punto porque como opinión no basta

De acuerdo a los reportado por Pérez-Ponce de León y colaboradores (2018) *S. acheilognathi* es una amenaza para los peces dulceacuícolas, principalmente para los cirprinidos, además de que esta tenia tiene una gran capacidad de adaptación para distintos ambientes, de igual manera coincide con lo reportado por Gacia-López et al (2016) quien menciona que *C. jordani*, *G atripinnis* y otro ciprinido son el hospedero de este helminto y otros; Khan y Thulin (1991) señalaron que la exposición crónica a contaminantes a lo largo del tiempo provoca cambios bioquímicos, fisiológicos y de comportamiento en el huésped, todos los cuales pueden influir en los niveles de infección. Estos autores también consideraron que los contaminantes pueden afectar las formas de vida libre de algunas especies de helmintos o la supervivencia intermedia del huésped.

Químico

Espectrofotometría

La espectrofotometría que se realizó consistió en un análisis general de las muestras tanto de hueso como de musculo para los peces, se realizó por cuadruplicado para cada muestra; la mayoría de los estudios de contenido de metales pesados recurren a un análisis de este tipo, para analizar órganos (hígado, agallas y riñones) en su mayoría, al ser este estudio de índole anatómico se recurrió a la espectrofotometría para conocer que metales se encuentran adheridos a los tejidos de los peces, además de conocer las concentraciones a las que se encuentran.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Como se mencionó con anterioridad la mayoría de los estudios sobre el contenido de metales pesados en los organismos se realizan con esta técnica, es también notable que en la mayoría de estos análisis se buscan específicamente ciertos metales pesados como Pb, Cd, Cu, As, Zn, Fe, Ni, y Mn (Kwok,2014; Lara Villa, 2003;Leung et al ,2014; Mziray y Kimirei, 2016) solo por mencionar algunos, esto es debido a que como he recalcado anteriormente la mayoría de los organismos estudiados son de importancia comercial y la normativa para la venta y consumo de estos organismos exige que se les realice a los organismos un análisis para conocer los niveles de metales pesados que contienen en músculo y en órganos, ya que estos productos son consumidos en gran parte del mundo y con ello ponen en riesgo la salud de la población.

Es importante mencionar que en los organismos procedentes de Chapultepec se buscó conocer cuáles eran los contaminantes adheridos al cuerpo de los peces, es decir el análisis no fue únicamente para conocer las concentraciones de ciertos metales como se realizó en los trabajos mencionados anteriormente, la espectrofotometría arrojó la presencia de 75 elementos, de los cuales únicamente se presentan 27 elementos en las tablas de las espectrofotometrías (Anexo II),dentro de los elementos analizados por su puesto contemplamos los ya mencionados y los que son más estudiados comúnmente, así como también aquellos que se concentran en una gran cantidad.

Anatómico

Anatómicamente caracterizados (Forma, tamaño y medidas morfo métricas)

Chirostoma jordani= Los charales son organismos endémicos de la meseta central de México, son peces de ambientes estuarios y dulceacuícolas. Estos organismos presentan un cuerpo esbelto y comprimido, una banda lateral plateada ancha, una boca generalmente pequeña con dientes débiles y esencia ninguna línea lateral, la talla promedio de los charales de Chapultepec fue de 7.17 cm (LT) Y 6.22 cm (LP), presentaban una coloración amarillenta y una muy definida línea plateada que se prolongaba desde el pedúnculo caudal hasta opérculo.



Girardinichthys viviparus = Este organismo habita los alrededores de la Ciudad de México, es un organismo presentan abundantes branquiespinas y dientes mandibulares externos bífidos, se alimentan por ramoneo y filtración, presentan un claro dimorfismo sexual, la hembra suele ser la de mayor tamaño (aproximadamente 149 mm). Estos organismos son localizados generalmente a la mitad de la columna de agua y en el fondo (Rush, 2009), la talla promedio de estos peces en el lago de Chapultepec fue de aproximadamente 3.5 cm de LT, los Mexcalpiques presentaban una coloración oscura.

Goodea atripinnis = tiene una amplia distribución a lo largo de la vertiente del Pacífico de México. Este organismo presenta un cuerpo alargado, comprimido y un dorso casi recto, poco elevado, el pedúnculo caudal es profundo, cabeza acortada y deprimida, triangular y puntiaguda, la boca tiene una ancha con dientes bífidos, aproximadamente 40 en cada mandíbula, una aleta dorsal con 12 a 15 radios, pectoral con 14 a 16 radios, la pélvica con seis radios, la anal con 13 a 16 radios, anal del macho con seis de estos rayos que comprenden el lóbulo anterior, el gonopodio, separado por muesca del resto de la aleta y la caudal con 18 a 21 radios, adultos tienen la característica del vientre amarillento y una coloración verdosa o café a marrón oscuro. (Hubbs y Turner, 1939; Kobelkowsky, 2005; Miranda et al 2010. Los peces provenientes del lago de Chapultepec presentaron una talla media de 5.87 cm (LT) Y 3.36 cm LP, además de presentar una coloración amarillenta verdosa, estos organismos se presentaron en un mayor número respecto a las otras dos especies.

De acuerdo a lo mencionada por Contreras (1990) la ictiofauna es de gran importancia, ya que alberga especies nativas, las cuales son de importancia alimenticia.

Bioacumulacion.

“La bioacumulacion de contaminantes hace referencia al balance entre la cantidad de metal incorporado a los seres vivos y la cantidad que estos son capaces de



eliminar de su propio organismo, siendo una consecuencia el aumento o disminución del contenido metálico en el organismo”. (Vicente, 2010)

Actualmente el estudio de los metales pesados en los organismos ha ido en aumento y esto es debido a que se sabe que algunos de estos metales son vitales para realizar algunas funciones en el organismo, el problema radica cuando la concentración aumenta o disminuye drásticamente, como se mencionó con anterioridad la mayoría de los estudios son realizados en especies de importancia comercial, debido a que la normativa para venta de productos alimenticios exigen que se realicen estos análisis por la salud de la población.

Como es bien sabido todos los organismos cumplen con un papel en su hábitat, muchos de ellos son considerados ecológicamente muy importantes, son bioindicadores del medio (Argota et al 2012). Esto es de gran importancia debido a que muchos de ellos nos permiten interpretar cual es la situación del medio, actualmente las condiciones ambientales no son del todo buenas, siendo esto producto antropogénico; un problema grave radica en las grandes concentraciones de metales pesados que se encuentran en suelo, agua y en muchos de los organismos que son parte fundamental de nuestra dieta.

La acumulación de metales pesados actualmente es un grave problema, no solamente para la población, si no que muchas de las especies que se encuentran siendo reservorios de estos metales sufren muchas alteraciones debido a ellas; en los peces del Lago de Chapultepec es notorio que la bioacumulación es un grave problema, no solo para la ictiofauna que en ellos habita, sino para todos aquellos organismos que interactúan con los peces del lago.

Prosi (1981) menciona que la bioacumulación de metales pesados en los organismos es multifactorial, es decir el ciclo de vida, los cambios en su actividad (relacionados con su estacionalidad), la variabilidad específica, sus hábitos, entre otros. Actualmente no se conocen con exactitud cuáles son las vías de entrada de los contaminantes en organismos acuáticos, se sabe que pueden seguir varias vías como: epitelios respiratorios (branquias, tegumento), alimentos o por absorción a la superficie del cuerpo (Clarck, 1989; Jaramillo, 2009; Peres, 1981; Prosi, 1981; Rainbow, 1988; Williams, 1981).



Sin embargo hay algunos estudios como el que realizaron Amundsen et al.,1996 quienes mencionan que en el caso de los peces se infieren tres vías de entrada para los metales pesados: a través de la superficie corporal, a través de las branquias o a través del tracto digestivo. Las branquias se consideran un blanco fácil, debido a que incorporan los metales disueltos en el agua, el alimento por otro lado es considerado como la fuente principal de acumulación de metales pesados; así como también que los efectos de éstos afectan funciones fisiológicas, tasas de crecimiento, reproducción y mortalidad.

Es importante recalcar que la bioacumulación de metales pesado en estos organismos depende de muchos factores, por ejemplo algunos investigadores reportan que la bioacumulacion depende de hábitos alimenticios y que el nivel de acumulación se relaciona directamente con los hábitos de la especie (Yilmaz, 2005; Velusamy et al., 2014), es también importante recalcar que la concentraciones de los metales puede variar dependiendo del tamaño y peso del organismo, la edad, el género, cuales son los tejidos que se analizan y la condición fisiológica (Raja et al.,2009; Naeem et al.,2011), los factores anatómicos y fisiológicos no son los únicos que influyen sobre la contaminación, algunos autores como Dural et al.,2007 y Bahnasawy et al.,2010 menciona que factores como: el estado del cuerpo de agua, el cual tiene un gran peso sobre esto , es decir que ecosistema acuático es, cual es el grado de contaminación que presenta, que forma química tiene el metal en el agua, cual es la temperatura del agua, el pH, que cantidad de oxígeno disuelto, transparencia del agua, entre otros. Es importante considerar que cada una de las especies estudiadas ocupa un lugar específico en la columna de agua, en el caso de los charales se localizan en el epilimnion del lago, es decir la zona más superficial, por otro lado los Mexcalpiques se encuentran en a las orillas de los lagos, utilizando como refugio la vegetación y en el caso del pez tiro este prefiere profundidades que oscilan entre los 0.5 metros y 1.7 metros, siendo esto un factor relevante también para la bioacumulacion de los contaminantes.

Dicho esto es importante recalcar que en cada una de las especies estudiadas presento diferencias en las zonas de bioacumulación; en los charales las



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

principales zonas de bioacumulación se localizan en cráneo, columna vertebral y en la musculatura, de acuerdo a lo obtenido por todos los análisis realizados, es notable que en estos peces el mayor daño se encuentra presente a nivel de cráneo y columna; como mencione con anterioridad actualmente no se conocen con certeza las vías de entrada de los metales pesados al organismo; lo que sí es posible conocer son las deformaciones causadas a nivel de cráneo y columna vertebral, posiblemente causadas por la bioacumulación, así como también la descalcificación de los organismos; en el caso de los Mexcalpiques las mayores zonas de bioacumulación se localizaron en cráneo y en las aletas, de igual manera ambas estructuras óseas presentaron cambios, en el caso del pez tiro las mayores zonas de bioacumulación se presentaron en columna vertebral, costillas y en la musculatura asociada.

Un aspecto de vital importancia para considerar las diferencias de la bioacumulación en los organismos, es el factor de enriquecimiento (FE), el cual es definido por Fernández y Carballeira (2001) como: “el cociente entre la concentración de metal en el materia biológico y la concentración de metales en el agua”.

Los factores de enriquecimiento varían dependiendo el organismo, por ejemplo en el caso de fitoplancton y zooplancton, tiene un FE notables para ciertos elementos, los moluscos por otro lado presentan altos factores de enriquecimiento y para el caso de los peces se sabe que si acumulan metales como lo hemos venido mencionado, pero sus FE son mucho menores en comparación de los otros organismos.



CONCLUSIONES

- ❖ Las zonas de bioacumulación de metales pesados en zonas óseas de *C. jordani* se presentaron en cráneo y columna vertebral, en los Mexcalpiques se localizaron en cráneo, columna vertebral y aletas y en el caso del pez tiro se localizaron en costillas y columna vertebral, pero en todos los organismos se detectaron metales pesados aunados a la musculatura también.
- ❖ Se determinó la presencia de los metales pesados en zonas musculares y óseas de los peces.
- ❖ De acuerdo a las zonas de bioacumulación de los peces es notable que estos han sufrido cambios, es decir en el caso de los charales y Mexcalpiques a nivel de cráneo es visible el acortamiento y ensanchamiento de los huesos (Etmoides medios y laterales, así como ambos frontales), así como también la interrupción del canal sensorial, en el caso de la columna vertebral es notable el desplazamiento de las espinas neurales y hemales y por su puesto el alargamiento del cuerpo vertebral, en costillas es notable el adelgazamiento y descalcificación de estas, así como en el resto del organismo, en el pez tiro los cambios en el cráneo son poco visibles debido a la parasitosis que estos sufren, por otro lado los cambios son notorios tanto en columna vertebral, de igual manera el alargamiento del cuerpo vertebral y el desplazamiento de las espinas y de las costillas, en el caso de las últimas es muy notorio el adelgazamiento y la bioacumulación.
- ❖ De acuerdo a lo obtenido en la espectrofotometría es notorio que tanto en tejido muscular como en tejido óseo existe una similitud en las concentraciones de los metales, en ambos casos el elemento con mayor dominancia suele ser el S y Si, es decir que ambos tejidos son ricos en estos, pero por el lado contrario el elemento con una concentración pequeña oscila entre Au y Pb, en el caso del músculo para *G. atripinnis*, siendo esto un importante dato para el organismo.



SUGERENCIAS

Como es bien sabido los peces cumplen un papel muy importante en el ecosistema; por ello el hecho de que estos organismos estén presentando estos elementos en exceso en su organismo constituye un gran problema, como es mencionado con anterioridad los metales pesados son elementos necesarios para algunas funciones del organismo, pero el problema radica en el déficit o en el exceso de estos, debido a los graves problemas que están causando, tanto para la ictiofauna como para nosotros que normalmente somos consumidores de estos.

Es por ello que para complementar este estudio se sugiere:

- Realizar estudios de índole químico en órganos para poder conocer cuál es la concentración de metales pesados a nivel orgánico.
- Realizar un estudio de índole histológico para poder conocer como los metales pesados están afectando a distintos tejidos de los organismos.
- Realizar un estudio embriológico para poder conocer en qué momento del desarrollo del organismo los metales pesados empiezan a acumularse y ver incluso si desde ese momento se modifican estructuras óseas o que es lo que se modifica bajo esa presión.

Cabe mencionar que muchos de los estudios son realizados en especies de importancia comercial como lo es venido recalando en este trabajo, esto es debido a que estos organismos no solamente interactúan como otros animales, si no que su interacción trófica incluye a la población humana y de ahí deriva su importancia; pero también es importante considerar que existen muchos



organismos que están siendo involucrados directamente con la bio acumulación, es por ello que estos deben ser considerados para ser estudiados.



LITERATURA CITADA

- Andrews, J.E.(1989) Polychlorinated biphenyl (Aroclor 1254) induced changes in femur morphometry calcium metabolism and nephrotoxicity. *Toxicology* 5, 83-96.
- Amundsen, P.A.; Staldivk, F.J.; Lukin, A.A.; Kashulin, N.A.; Popova, O.A.; Reshetnikov, Y.S., 1997. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *Sci. Total Environ.*, 201(3):211-224.
- Argota G., Gonzales Y., Argota H., Fimia R., Iannacone J. (2012) Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) antes de los efectos de la contaminación acuática. *REDVET* 13(5).
- Clarck, R.B., 1989.- *Marine Pollution*. Claredon Press. Oxford. 220 pp
- Contreras, B.S. 1990. Lista anotada de especies de peces mexicanos en peligro o amenazadas de extinción. *Áreas Naturales Protegidas en México y Especies en Extinción*. Univ. Nal. Autónoma de México. (Ed). México, 211-217.
- Cortés-Delgado, N., Pérez-Torres, J., Mario H. (2009). Staining Procedure of Cartilage and Skeleton in Adult Bats and Rodents. *International Journal of Morphology* ; 27(4): 1163-1167. Temuco, Chile
- Corrales D y Acuña. A., Brugnoli. E. (2013). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. (Tesis de Licenciatura). Universidad de la República de Uruguay, Uruguay.
- Coronado, C. J. (2014). Elaboración de material docente mediante la técnica de diafanización para la enseñanza de la morfogénesis ósea. Trabajo de grado para optar al Título de Magister en Morfología Humana. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia
- Dawson, A. B. (1926). A note on the staining of the skeleton of cleared specimens in alizarin red S. *Stain Technique* ;1: 123-124.
- Dural, M., Lugal Göksu, M.Z., Akif-Özak, A., 2007. Investigation of heavy metal levels in economically important fish species captured from the Tuzla lagoon. *Food Chem.*, 102, 415-421.
- Elías Fernández G.; Navarrete Salgado N. A.; Rodríguez Robles J. L. (2008). Alimentación de *Chirostoma humboldtianum* (Valenciennes); (pisces: Atherinopsidae) en el Estanque JC en Soyaniquilpan, Estado de



México.Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 14(2) :
129-134

- ✦ El-Moselhy Kh. M., Othman A.I., El-Azem H. Abd, El-Metwally M.E.A.(2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian journal of basic and applied sciences* 97 e 1 0 5
- ✦ Flores Téllez. D.L y Alcocer Durand J. (1991). Contribución al conocimiento de la ictiofauna de los tres lagos de Chapultepec Mexico,D.F.(Tesis de licenciatura) .Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edo. Mex.
- ✦ Fernández, J.A., Carballeira, A., 2001. A comparison of indigenous mosses and topsoils for use in monitoring atmospheric heavy metal deposition in Galicia (NW Spain). *Environ. Pollut.*, 114 (3), 431–441.
- ✦ Fernández G. E.; Navarrete Salgado. N. A.; Rodríguez Robles J. L.(2008). Alimentación de *Chirostoma humboldtianum* (valenciennes); (pisces: atherinopsidae) en el estanque JC en Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Forestales y de Ambiente.*,1482): 129-134.
- ✦ Frías-Espericueta, M.G., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro¹, M. Aguilar-Juárez y D. Voltolina.(2010). Cadmio Y Plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios.*CICIMAR Océánides* 25(2): 121-134.
- ✦ Fuentes Gandara.F; Pinedo Hernández .J.; Marrugo Negrete. J. (2017). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Espacios*. Vol. 39(3).19
- ✦ Godínez Torres. F. y Rodríguez Varela. A. (2001). Estudio de las condiciones ambientales que favorezcan el mantenimiento y reproducción del Mexclapilque *Girardinichthys viviparus* (GODEIDAE), en condiciones de laboratorio. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edo. Mex.
- ✦ García, G., & Luque, M. (2008). Análisis de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb y Zn) en el tejido muscular de la Mojarra Rayada *Eugerres plumieri* y en la Lisa *Mugil incilis* de la ciénaga de Mallorquín, Atlántico. Trabajo de grado. Universidad del Atlántico, Barranquilla.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

- ✦ Gersenowies, R.J.R., Sánchez F.G. (2010). Descripción anatómica del Esqueleto de los Tractos Respiratorios Superiores del Periquito Australiano. *International Journal of Morphology.*; 28(1):85-92. Temuco, Chile.
- ✦ Görür, F. K., Keser, R., Akçay, N., & Dizman, S. (2012). Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. *Chemosphere*, 87(4), 356-361.
- ✦ García-de Sotero Dora & Alva-Astudillo Mario. (2013). Contenido de metales pesados en pescados comercializados en Iquitos, Nauta y Requena. *Revista Ciencia Amazónica (Iquitos)*. 3(1) : 33-42.
- ✦ Hubbs, CL y CL Turner. 1939. Estudios de los peces del orden Cyprinodontes. XVI. Una revisión de la Goodeidae. *Publicaciones diversas del Museo de Zoología, Universidad de Michigan* 42: 1–80.
- ✦ INVEMAR. (2005). Informe técnico primer monitoreo de metales pesados en aguas, sedimentos y organismos de la ciénaga de Mallorquín, Departamento del Atlántico.
- ✦ Ibáñez A.L., García Calderón.J.L y Torres-Orozco B. R.(2008). Aspectos reproductivos de una población del charal *Menidia jordani* (Woolman) del Lago de Metztlán, Hidalgo. *Hidrobiologica.*, 11(1): 1-9.
- ✦ Jaramillo Londoño Angela Maria. (2009). Estudio de la biología trófica de cinco especies de peces bentónicos de la costa de Cullera. Relaciones con la acumulación de metales pesados. (Tesis Doctoral) Universidad Politecnica de Valencia.
- ✦ Kiernan J.R (1990). *Histological and histochemical methods Theory and practice* Kiernan, Jr(ed). Second edition Pergamon Press: Oxford 433 pp.
- ✦ Khan y Thulin, Khan RA, Thulin J. (1991) Influencia de la contaminación en parásitos de animales acuáticos. *Avances en parasitología*. 1991; 30 : 201-38
- ✦ Kanti,A., Smith,M.A.(1997) Effect of heavy metals on chondrogenic differentiation of embryonic chick limb cells. *In vitro toxicology* 10, 329-338.
- ✦ Kobelkowsky, A. 2005. Anatomía general y dimorfismo sexual de *Goodea atripinnis* (Teleostei: Goodeidae). En: Uribe, MC & Grier, HJ (eds.) *Peces vivíparos*. pp. 483–498. Publicaciones New Life 603 p.



- ✦ Karadede-Akin, H., & Ünlü, E. (2007). Heavy metal concentrations in water, sediment, fish and some benthic organisms from Tigris River, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 131(1), 323-337.
- ✦ Kardong, 2007. Vertebrates. McGrawHill
- ✦ Korkmaz Gorur F., Keser R., Akcay N., Dizman S. (2012). Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. *Chemosphere* 87 (2012) 356–361
- ✦ Lind, P.M., Eriksen, E.F., Sahlin, L., Edlund, M., Orberg, J. (1999) Effects of the antiestrogenic environmental pollutant 3,3',4,4',5- pentachlorobiphenyl (PBC #126) in rat bone and uterus: diverging effects in the ovariectomized and intact animals. *Toxicology and Applied Pharmacology* 154, 236-244.
- ✦ Lozada-Zarate. E.J. Monks, S., Pulido-Flores .G., Gordillo-Martínez A .J. y Prieto-García.F. (n/d). Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* en la laguna de Metztlán, Hidalgo, México.
- ✦ Lievremont M. Patus, J., Guillau, B. (1982) Use of alizarine red S for histochemical staining of Ca² in the mouse; some parameters of the chemical reaction in vitro. *Acta Anatomica* 114, 268-280.
- ✦ Leung H.M, Leung A.O.W, Wang H.S, Ma K., Liang Y., Ho K.C., Cheung K.C., Tohidi F. & Yung K.K.L. (2014). Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China. *Marine Pollution Bulletin* 78(2018) 235-245.
- ✦ Londoño-Franco Luis F., Laverde-Trujillo Laura M., Muñoz-García Fabián G (2017). Descripción anatómica e histológica del Aparato digestivo de la Sabaleta (*Bycon henni*), Antioquia, Colombia. *Rev. Inv Vet Perú* 28(3).
- ✦ Mancera-Rodríguez. N.J., Alvarez-Leon. R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biologica Colombiana*, Vol. 11(1), 32.
- ✦ Miranda Rafael, Galicia David, Monks Scott y Pulido Griselda – Flores . (2010). Primer registro de *Goodea atripinnis* (Cyprinodontiformes : Goodeidae) en el estado de Hidalgo (Mexico) y algunas consideraciones sobre su posición taxonómica. *Revista Hidrobiologica* 20 (2)



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

- ✦ El-Moselhy, Othman K. M.,. El-Azem A. I, H. A. & El-Metwally, M. E. A. (2014). Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(2), 97-105.
- ✦ Mziray, P., & Kimirei, I. A. (2016). Bioaccumulation of heavy metals in marine fishes (*Siganus sutor*, *Lethrinus harak*, and *Rastrelliger kanagurta*) from Dar es Salaam Tanzania. *Regional Studies in Marine Science*, 7, 72-80.
- ✦ Navarrete .N. A., Sánchez. R. y. Rojas .M.L.(1996). Selección del zooplancton por el charal *Chirostoma jordani* (Atheriniformes: Atherinidae). *Revista de Biología Tropical.*, 44(2):757-761.
- ✦ N. A. Navarrete-Salgado; G. Contreras-Rivero; G. Elías-Fernández. (2003). abundancia y estado sanitario del mexcalpique (*Girardinichthys viviparus* Bustamante) en cuerpos de agua del centro de México. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y de Ambiente.*, 9(2):143-146.
- ✦ Navarrete Salgado Norma, Contreras Rivero Gilberto, Elias Fernandez Guillermo, y Rojas Bustamante Margarita Laura.(2004). Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los Lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. *Revista de Zoología.* 15:1-6.
- ✦ Navarrete Salgado N.A. (2007). *Chirostoma (Menidia)*: ecología y utilización como especie de cultivo en estanques rústicos. *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología.*,10(39):736-748
- ✦ Navarrete-Salgado.N.A, Contreras-Rivero.G, Jacobo-Segura.D.L. (2010). Situación de *Menidia jordani* (pisces: Atherinopsidae) en el embalse La Goleta, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambient* 16(2): 165-169.
- ✦ NOM-059-SEMARNAT-2010. Recuperado el 30 de mayo de 2018 de http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf.
- ✦ Navarrete Salgado. N. A. y Contreras Rivero. G. (2011). Crecimiento y mortalidad del charal (*Menidia jordani*) en el estanque Guillermo Lagunes (GL), Estado de México. *Revista Chapingo Serie Forestales y de Ambiente.*,17(3):407-410
- ✦ Navarrete-Salgado.N.A. (2017). *Chirostoma* (menidia): Ecología y utilización como especie de cultivo en estanques rústicos *Chirostoma* (Menidia): *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 10(39): 736-748.}



- ❖ Ojendis Garfias.V.M y Franco López.(1985). Contribución al conocimiento de la biología del Mexclapique (*Girardinichthys viviparus*); con algunos aspectos ecológicos de la parte norte del ex- lago de Texcoco (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios superiores de Iztacala, Tlalnepantla de Baz, Edo. Mex.
- ❖ Oropeza Bueno Cintia Lucero(2012).Evaluación de la técnica de transparentarían con doble tinción en un medio libre de ácido en charal *Chirostoma jordani*: (Osteichthyes: Atherinidae). (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.
- ❖ Prosi, F. (1981). Heavy metals accumulation by selected Halodule wrightii Asch. Populations in the Corpus Chrii Bay Area. Contribution in Marine Science,23:90-100.
- ❖ Peres,J.M.,1981.Polución por sustancias minerales no nutritivas. En : La polucion de las aguas marinas. Peres,J.M(Ed). Omega. Barcelona,250 pp. Discusion.
- ❖ Pájaro Meza. D. M y Sanchez Rincón. P.A y Fuentes Garanda F.A. (2016). Evaluación de las concentraciones de metales pesados (Cd y Pb) en especies ícticas comercializadas en la plaza del pescado de la ciudad de barranquilla y riesgo potencial para la salud humana.(Tesis de licenciatura).Universidad de la costa, Barranquilla.
- ❖ Perez-Ponce de Leon. G, Lagunas-Calvo. O, Garcia Prieto. L, Briosio-Aguilar. R. (2018). Actualizacion sobre la distribución de la co-invasiva Schyzocotyle acheilognathi (= Bothriocephalus acheilognathi), la tenia asiática, en peces de agua dulce de Mexico. Journal of Helminthology. 92
- ❖ Rainbow,P.S.,1988.The significance of trace metal concentrations in decapods. En: Symp. Zool. Soc. London 59. Aspects of Decapods Crustacean Biology. Ficham, A.A& Rainbow, P.S (Edits). Oxford University Press. Oxford. 291 pp
- ❖ Reséndiz M.R., Hernández Z.J.S. , Ramírez H.R. , Pérez A.R.(2012). Calidad sanitaria del “charal” (*Menidia jordani*) y tortilla de maíz en la alimentación mexicana. AICA Actas Iberoamericanas de Conservacion Animal (2): 249-251
- ❖ Rodríguez Amador, R, Monks. S., Pulido Flores G., Gaytán OyarzunJ. C., Romo Gómez C. y Violante González J.(2012). Metales pesados en el pez *Dormitator latifrons* (richardson, 1884) y agua de la laguna de tres palos, Guerrero, México. Ra Ximhai, vol. 8, núm. 2., mayo-agosto, 2012, pp. 43-47



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

- ✦ Rajkowska, M., & Protasowicki, M. (2013). Distribution of metals (Fe, Mn, Zn, Cu) in fish tissues in two lakes of different trophy in Northwestern Poland. *Environmental monitoring and assessment*, 185(4), 3493-3502.
- ✦ Rajeshkumar Sivakumar & Li Xiaoyu.(2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports* 5(2010) 288-295.
- ✦ Rivera Gómez María del Consuelo, Moreno Colín Roberto, Sánchez Fabila Gabriela, Fernández Araiza Mario, Cárdenas León Mario y Castro Cortes Hugo de Jesús. (2016). Evaluación del efecto de tres hidróxidos en la calidad de Diafanización de peces de cola de espada (*Xiphophorus helleri*). *Revista AquaTIC*, 46, pp. 1-9.
- ✦ Ruvalcaba Hernández Pamela (2016) . Analisis de las deformaciones oseas presentes en los peces angel *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Cichlidae) reproducción en cautiverio,variedades plateado,albino,negro,halfblack y perlado utilizando la técnica de diafanizacion. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- ✦ Scheuhammer, A.M.,(1987). The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: A review. *Enviromental Pollution* 47, 263-295.
- ✦ Salinas Torres David (2011). El sistema digestivo de peces teleósteos. (Tesis de maestria) Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- ✦ Sanchez Montejó Patricia (2016).Análisis de las deformaciones óseas de los peces ángeles *pterophyllum scalare* (perciformes:cichlidae) criados en cautiverio variedades oro, zebra, humo y mármol utilizando la técnica de diafanización. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México
- ✦ SAGARPA. Se duplica producción de charal en México.(2017). Recuperado el 18 de mayo de 2018 de http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/abril/Documents/JAC_00131_13.PDF.
- ✦ Sánchez-Merino.R.; Díaz-Zaragoza .M.; Navarrete-Salgado .N. A.; García-Martínez.M. L; Ayala-Niño F.; Flores-Aguilar .M. D. (2006). Crecimiento, mortalidad y sobrevivencia del charal *Chirostoma humboldtianum* (Atherinopsidae) en el embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 12(2): 151-154.



- ✦ Teisaire, E, S; Nieto, L, O; Roldán, I, A; Kreisel, U,Z; Aragón, L, M; Moreno, G,A (2013). Anatomía comparada de Vertebrados. Actividades para el estudio del esqueleto. Generalidades. Cráneo de peces. Reduca (Biología). Serie Zoología. 6 (1): 1-16, 2013. ISSN: 1989-3620
- ✦ UNAM. Charales a la mesa. (2013). Recuperado el 30 de mayo de 2018 de <http://www.fundacionunam.org.mx/ecologia/charales-a-la-mesa/>.
- ✦ Vicente Martorell J. J.,(2010). Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa suratlantica andaluza afectados por contaminación difusa.(tesis Doctoral). Universidad de Cadiz, Facultad de Ciencias: Departamento de química analítica.
- ✦ Williams,R.J.P.,(1981). Physico-chemical aspect of organic element transfer though membranes. Philos. Trans. R.Soc. Ser. B, p 294
- ✦ Yun-Ru Ju, Chiu-Wen Chen, Chih-Feng Che, Xiang-Ying Chuang & Cheng-Di Dong. (2017). Assesmente of the heavy metals in aquaculture fishes collect from southwest coast of Taiwan and human consumption risk. International Biodeterioration & Biodegradation 124(2017) 314-325
- ✦ Zorrilla DOMENICHI .M. F. y Muñoz E, Soto Duque. A. Estado del arte sobre la presencia de metales pesados en tejidos y agallas de peces. (Tesis de licenciatura) Universidad Autonoma de Occidente, Santiago de Cali.



ANEXOS



ANEXO I. MEDIDAS MORFOMETRICAS.

Tabla #. Medidas morfométricas de *C.jordani* (longitud total (LT), longitud patron (LP), longitud cefalica (LC), Altura maxima (AM), altura minima (Am) y Diametro ocular (D.O) .

LT	LP	LC	AM	Am	D.O
7.3	6.3	1.4	1.9	0.5	0.4
7	6.1	2.4	1.5	0.5	0.3
6.8	6.4	1.3	2.1	0.4	0.4
6.9	5.8	1.9	2	0.6	0.4
6.5	6	1.5	1.1	0.5	0.4
7.2	6.2	1.8	2	0.6	0.4
7	5.9	2.1	2	1	0.5
6.3	5.8	1.9	2	0.6	0.7
7.2	6.1	2.2	2	1.5	0.6
6.9	6.5	2.2	2.1	0.5	0.4
7.2	6.2	2.2	2	0.8	0.6
6.3	5.8	2	2	0.9	0.4
7.2	6.3	2.2	2	0.9	0.2
8.2	7.3	2.4	1.9	0.9	0.5
7.2	6.2	2.5	1.9	0.5	0.4
7.7	6.4	2.4	2	0.4	0.8
8.6	7.5	2.2	2	0.8	0.4
6.7	6	2.4	1.9	0.9	0.4
7.7	6.7	2.4	2	0.9	0.4
7.7	6.7	2.2	2	0.7	0.4
6.9	5.4	2.2	2.1	0.4	0.4
6.9	6.5	2.2	2	0.5	0.6
7.1	6.2	2.1	2	0.7	0.5
7.5	6.3	2.3	2	0.9	0.7
6.7	6.2	2.1	2	0.7	0.4
7.4	6.9	2.2	2	0.4	0.5
6.8	5.8	2	1.9	0.8	0.5
7.2	6.5	2.1	1.9	0.9	0.9
7.4	6.6	2.1	2	1.1	0.5
7.6	6.8	2.3	2.1	1.4	0.5
7.9	6.9	2.3	1.9	1.1	0.4
7.2	5.6	2.2	2	0.7	0.4
7.2	6.3	2.1	2.1	0.9	0.6



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

7.3	6.3	2.2	2.1	0.7	0.5
7.2	6.2	2.2	1.9	0.7	0.6
7.1	6.1	2.1	2	0.9	0.4
7.2	6.3	2.2	2	0.4	0.4
7.2	6.5	2.1	2.1	0.9	0.7
7	6.1	2.1	1.9	0.6	0.6
7	5.9	2.1	2	0.7	0.5
6.9	5.9	2.2	1.9	0.9	0.6
7.9	6.4	2.2	1.8	0.7	0.5
7.3	6.4	2.2	1.9	0.9	0.7
7.2	6.2	2.5	1.8	0.7	0.3
6.2	5.3	1.9	1.9	0.9	0.7
7.17555556	6.26222222	2.12888889	1.94888889	0.75333333	0.49777778



ANEXO II. ESPECTROFOTOMETRÍA EN MUSCULO Y HUESO A *C.jordani* Y *G.atrippinis*.

Tabla #.Valores de espectrofotometría realizada para la detección de metales pesados en el hueso de *C. jordani*

Elementos	Blanco	<i>C.jordani</i> hueso
S	107667 mg/l	95103 mg/l
Si	1359.11 mg/l	2163.61 mg/l
Al	452.48 mg/l	418.97 mg/l
Ca	458.53 mg/l	359.56 mg/l
K	155.011 mg/l	141.064 mg/l
P	163.56 mg/l	56.55 mg/l
Na	47.62 mg/l	38.76 mg/l
Mg	36.39 mg/l	33.58 mg/l
Br	4.96 mg/l	21.33 mg/l
B	8.97 mg/l	12.39 mg/l
Fe	7.86 mg/l	7.5 mg/l
Mn	2.36 mg/l	2.04 mg/l
Zn	2.27 mg/l	1.94 mg/l
Li	1.689 mg/l	1.676 mg/l
Co	1.41 ug/l	909.58 ug/l
Cu	315.86 ug/l	238.24 ug/l
I	74.98 ug/l	274.92 ug/l
Sr	243.76 ug/l	217.9 ug/l
As	85.84 ug/l	75.2 ug/l
V	15.88 ug/l	28.56 ug/l
Cr	55.16 ug/l	27 ug/l
Ga	9.65 ug/l	9.94 ug/l
Pb	2.71 ug/l	2.26 ug/l
Ag	229.022 ng/l	161.65 ng/l
Hg	157.04 ng/l	67.32 ng/l
Cd	38.57 ng/l	38.57 ng/l
Au	2.65 ng/l	31.64 ng/l



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

Tabla # .Valores de la espectrofotometría realizada para la detección de metales pesados en musculo de *C. jordani*.

Elementos	Blanco	<i>C. jordani</i> musculo
S	107667 mg/l	109410 mg/l
Si	1359.11 mg/l	2354.18 mg/l
Ca	458.53 mg/l	643.37 mg/l
Al	452.48 mg/l	559.56 mg/l
P	163.56 mg/l	282.73 mg/l
K	155.011 mg/l	166.91 mg/l
Mg	36.39 mg/l	45.53 mg/l
Na	47.62 mg/l	37.85 mg/l
Br	4.96 mg/l	27.56 mg/l
B	8.97 mg/l	11.92 mg/l
Fe	7.86 mg/l	7.52 mg/l
Zn	2.27 mg/l	3.19 mg/l
Mn	2.36 mg/l	2.9 mg/l
Li	1.689 mg/l	2.63 mg/l
Co	1.41 ug/l	1458.72 ug/l
V	15.88 ug/l	444.41 ug/l
Cu	315.86 ug/l	416.11 ug/l
Sr	243.76 ug/l	406.72 ug/l
I	74.98 ug/l	118.69 ug/l
Cr	55.16 ug/l	115.04 ug/l
As	85.84 ug/l	108.03 ug/l
Ga	9.65 ug/l	15.12 ug/l
Pb	2.71 ug/l	3.31 ug/l
Hg	157.04 ng/l	201.98 ng/l
Ag	229.022 ng/l	161.65 ng/l
Cd	38.57 ng/l	160.22 ng/l
Au	2.65 ng/l	12.65 ng/l



Tabla #.Valores de la espectrofotometría realizada para la detección de metales pesados en el hueso de *G.atripinnis*

Elementos	Blanco	<i>G.atripinnis</i> hueso
S	107667 mg/l	87866 mg/l
Si	1359.11 mg/l	1384.75 mg/l
Al	452.48 mg/l	307.52 mg/l
Ca	458.53 mg/l	294.29 mg/l
K	155.011 mg/l	128.79 mg/l
P	163.56 mg/l	78.84 mg/l
Na	47.62 mg/l	21.73 mg/l
Mg	36.39 mg/l	21.2 mg/l
B	8.97 mg/l	8.26 mg/l
Br	4.96 mg/l	7.46 mg/l
Fe	7.86 mg/l	5.78 mg/l
Mn	2.36 mg/l	1.79 mg/l
Zn	2.27 mg/l	1.55 mg/l
Li	1.689 mg/l	1.049 mg/l
Co	1.41 ug/l	831.15 ug/l
Cu	315.86 ug/l	191.52 ug/l
Sr	243.76 ug/l	165.92 ug/l
I	74.98 ug/l	94.08 ug/l
As	85.84 ug/l	46.03 ug/l
Cr	55.16 ug/l	45.57 ug/l
V	15.88 ug/l	25.36 ug/l
Ga	9.65 ug/l	6.86 ug/l
Pb	2.71 ug/l	1.68 ug/l
Ag	229.022 ng/l	188.6 ng/l
Cd	38.57 ng/l	110.22 ng/l
Hg	157.04 ng/l	44.88 ng/l
Au	2.65 ng/l	6.32 ng/l

Tabla #.Valores de la espectrofotometría realizada para la detección de metales pesados en el hueso de *G.atripinnis*



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de chapultepec

Elementos	Blanco	<i>G. atripinnis</i> musculo
S	107667 mg/l	98837 mg/l
Si	1359.11 mg/l	1443.9 mg/l
Ca	458.53 mg/l	674.34 mg/l
P	163.56 mg/l	682.4 mg/l
Al	452.48 mg/l	482.44 mg/l
K	155.011 mg/l	156.41 mg/l
Na	47.62 mg/l	44.53 mg/l
Mg	36.39 mg/l	39.32 mg/l
B	8.97 mg/l	9.19 mg/l
Fe	7.86 mg/l	7.55 mg/l
Br	4.96 mg/l	5.3 mg/l
Zn	2.27 mg/l	2.68 mg/l
Mn	2.36 mg/l	2.26 mg/l
Li	1.689 mg/l	1.7 mg/l
Sr	243.76 ug/l	418.51 ug/l
Cu	315.86 ug/l	302.93 ug/l
I	74.98 ug/l	75.3 ug/l
V	15.88 ug/l	29.44 ug/l
Co	1.41 ug/l	1.3645 ug/l
Cr	55.16 ug/l	47.236 ug/l
Ag	229.022 ng/l	242.49 ng/l
Cd	38.57 ng/l	110.22 ng/l
As	85.84 ug/l	101.38 ug/l
Hg	157.04 ng/l	89.76 ng/l
Au	2.65 ng/l	12.65 ng/l
Ga	9.65 ug/l	11.64 ug/l
Pb	2.71 ug/l	2.6 ug/l



ANEXO III. ANALISIS DE AGUA EN LOS LAGOS Y ANALISIS DE PARASISTOS EN PECES.

✓ Estaciones de muestreo

Se ubicaron 6 estaciones de muestreo en total en los lagos de Chapultepec.

Tres en el Lago Viejo de la 1a Sección del Bosque de Chapultepec (1 en el Lago Menor y 2 en el Lago Mayor) y tres en los dos lagos de la 2a Sección del Bosque de Chapultepec, dos en el Lago Mayor y una en el Lago Menor (Fig. 1).



Fig. 6. Ubicación de las estaciones de muestreo en los lagos de las dos secciones del Bosque de Chapultepec.



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

✓ Físicoquímicos del lago.

Los lagos de Chapultepec son de agua dulce, presentan una salinidad que varía entre 0.25 y 0.41g/L, con una conductividad eléctrica que oscila entre los 500 μ S/cm, la alcalinidad total es siempre inferior a 150 mg CaCO_3 /L, con durezas que no rebasan los 130 mg CaCO_3 /L. El pH fluctúa en valores alcalino a muy alcalino (7.3 a 10.5). La carga iónica total es de 9.2 meq/L y dominancia iónica del agua (en meq/L) es: $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \geq \text{HCO}_3^- \geq \text{CO}_3^{2-}$ para los aniones y $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ para los cationes. Usualmente, todos los descriptores asociados con la mineralización muestran porcentajes de coeficientes de variación (CV%) por encima o muy por encima del 5% al 10%.

Como complemento a los análisis físicoquímicos del agua se analizaron la presencia y concentración de Boro, Nitratos y Nitritos (Tabla 1).

Tabla 1. Mínimos y máximos (min-max), promedios (X), desviación estándar (DE) y porcentaje del coeficiente de variación (CV %) de boro, nitratos y nitritos en los lagos de Chapultepec.

Indicador, mg/L	N	Min-max	X	DE	CV%
Boro	72	0-0.22	0.03	0.06	204
N-NO3-	72	0-11.94	2.76	3.32	120
N-NO2-	48	0.484	0.65	1.03	158

En cuanto a los análisis de la concentración de metales pesados en las aguas de los Lagos de Chapultepec [Fe (n=18), Cu (n=18), Pb (N=12) y Zn (N=12)], los resultados fueron los siguientes:



- **Hierro, Fe:** Excepto por la Est. 1 (Lago Viejo) en marzo (0.05 mg/L) y la Est. 5 (Lago Mayor) en enero (0.07 mg/L), no se detectaron (por debajo del límite de detección) concentraciones de hierro en los Lagos de Chapultepec.
- **Cobre, Cu:** Todos los análisis arrojaron valores por debajo del límite de detección.
- **Plomo, Pb:** Se detectó en todas las estaciones y fechas analizadas, promedio • } desvest. (mg/L) = 0.008 • } 0.001 (intervalo = 0.007 a 0.009 mg/L).
- **Zinc, Zn:** En abril los análisis dieron valores por debajo del límite detectable y en Mayo los valores fluctuaron entre 0 (Est. 3, Lago Viejo, Lago Menor) y 0.49 mg/L (Est. 6), pro medio • } desvest. = 0.046 • } 0.140 mg/L.

Los análisis de metales dieron valores bajos o indetectables. El Cu fue indetectable, el Zn asimismo fue indetectable o bien presento valores muy bajos, Pb se mantuvo siempre muy por debajo del valor límite máximo de 0.05 mg/L, al igual que el Fe y el Zn, los cuales quedaron por debajo del máximo permitido para la vida acuática, de 1 mg/L y 0.18 mg/L, respectivamente (EPA 1986).

✓ **Análisis de parásitos**

Se recolectaron peces de dos especies distintas: *Chirostoma jordani* y *Girardinichthys viviparus*. A cada pez se le practicó un examen helmintológico completo incluyendo la revisión externa (ectoparásitos) que incluyo la revisión de la superficie del cuerpo, aletas, opérculos, boca, ano y ojos. Así como la revisión de los órganos internos que incluyo cerebro, corazón, aparato digestivo, hígado, etc. Y se obtuvieron dos tipos de datos: el número de especies y la distribución de abundancia de cada especie (el número de Helmintos individuales por especie).



Detección de la bioacumulación de metales pesados en músculo y hueso de charales, mexcalpiques y pez tiro del lago de Chapultepec

En total se recolectaron 2 especies de helmintos: un adulto de *Schyzocotyle acheilognathi* y una larva de cestodo perteneciente a la familia Gryporhynchidae.

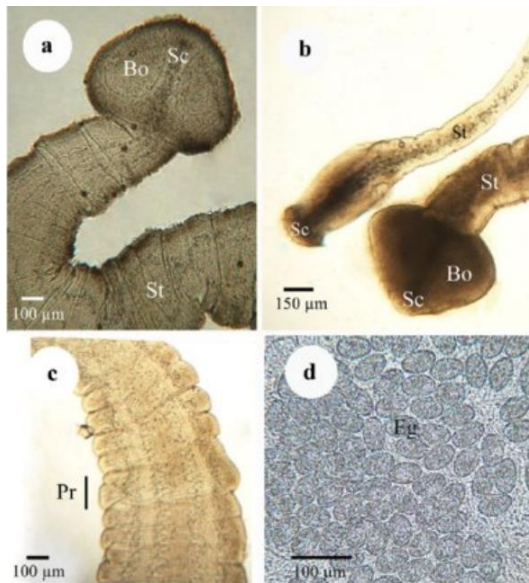


Figura 7. Micrografías de microscopio óptico de la tenía asiática *Schyzocotyle acheilognathi*. a Madura de *S. acheilognathi*. nota escolex piramidal (Sc), bothria (Bo) y strobila (St). b *S. acheilognathi* maduro e inmaduro (Tomado de Boonthai et al 2017)

Los resultados observados hablan de cargas parasitarias extremadamente bajas, lo que nos da a pensar que los ciclos de vida de parásitos no se están cerrando en estas condiciones. Esto puede ser porque es un cuerpo de agua muy perturbado y por lo tanto los organismos que normalmente se encontrarían como hospederos intermediarios (p.ej., copépodos) han desaparecido, o las poblaciones de estas especies de copépodos, que son parte del ciclo de vida de los cestodos, no están presentes con la frecuencia esperada.

