

**METALES PESADOS (Cd, Ni, Mn) EN AGUA Y TEJIDOS DE BOCACHICO
(*Prochilodus reticulatus*), y RAMPUCHE (*Pimelodus grosskopfii*), EN EL
CORREGIMIENTO DE TRES BOCAS, CUENCA DEL CATATUMBO,
NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA**

Mahyanía Maury Martínez

Cd. 1104376922

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología

Pamplona, Colombia

2020

**METALES PESADOS (Cd, Ni, Mn) EN AGUA Y TEJIDOS DE BOCACHICO
(*Prochilodus reticulatus*) y RAMPUCHE (*Pimelodus grosskopfii*), EN EL
CORREGIMIENTO DE TRES BOCAS, CUENCA DEL CATATUMBO,
NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA**

Mahyanía Maury Martínez

Tesis O trabajo de investigación presentada (o) como requisito parcial para optar al título

de: Biólogo

Director

José Antonio Sierra Leal, BSc

Grupo de investigación en Recursos Naturales

Codirector

Yaneth Cardona Rodríguez, MSc

Grupo de investigación en Biocalorimetría

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Biología

Pamplona, Colombia

2020

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico al pilar fundamental de mi vida por la que lucho y me esmero por ser mejor persona cada día mi hija Isabela Guerrero Maury.

A mis padres Feliz Manuel Maury y Aura Flor Martínez por ser la base de quien soy hoy en día, por confiar en mi brindándome su apoyo emocionalmente y económicamente en todo este proceso de formación como Bióloga.

AGRADECIMIENTOS

Mis queridos hermanos quienes siempre me brindaron su amor y ejemplo a seguir adelante a pesar de la adversidad en esta linda carrera.

A Mis hermanas que siempre han estado apoyándome dándome voz de aliento.

A mi director José Antonio Sierra Leal por su apoyo incondicional durante todo este proceso de formación, hoy solo me queda agradecerle por toda la paciencia que tuvo, por sus buenos consejos que hicieron que mi sueño hoy se hiciera realidad.

A la profesora Gladys Montañez Acevedo por su apoyo, acompañamiento y orientación en diseño estadístico, durante el desarrollo de mi trabajo de grado.

A la Fundación Peces del Catatumbo que siempre me brindaron su acompañamiento para realizar mis salidas de campo en especial al Gerente Fabricio Sánchez Rodríguez.

A Yolanda Rico en el Laboratorio de Control Calidad de la Universidad de Pamplona por tener siempre la disposición de facilitarme los laboratorios y los equipos necesarios.

A Francisco Javier Altahona Contreras por sus buenos consejos y ser guía en la escritura y elaboración de este proyecto.

A Jainer Isaac Barrios Torres por ser siempre mi apoyo porque siempre estuvo ahí para darme animo en momentos difíciles.

Al señor Benito Correa Chona y a los pescadores del Corregimiento de Tres Bocas por brindarme su apoyo y colaboración en toda la faena de pesca y ser quien me ayudo a recolectar las muestras con la atarraya y pesca artesanal mil gracias por todo.

A mis evaluadores por sus sugerencias y orientación en pro de mi formación académica.

A la familia Rozo Quintana por ser mi segunda familia durante el tiempo que estuve en Pamplona especialmente a Doña Marina Antonia Díaz el agradecimiento más grande por ser mi segunda mamá y por ese apoyo tan grande que me dio cuidando mi hija, mientras yo estaba en las salidas de campo.

Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | RESUMEN DEL PROYECTO..... | 12 |
| 2 | INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 3 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION | 15 |
| 3.1 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 15 |
| 3.2 | JUSTIFICACION..... | 17 |
| 4 | Objetivos..... | 19 |
| 4.1 | Objetivo general | 19 |
| 4.2 | Objetivos específicos..... | 19 |
| 5 | MARCO DE REFERENCIA..... | 20 |
| 5.1 | ANTECEDENTES | 20 |
| 5.1.1 | Antecedentes Internacionales..... | 20 |
| 5.1.2 | Antecedentes Nacionales..... | 22 |
| 5.1.3 | Antecedentes Regionales..... | 24 |
| 5.1.4 | Antecedentes locales | 26 |
| 6 | MARCO CONTEXTUAL..... | 28 |
| 6.1 | MARCO TEÓRICO | 28 |
| 6.1.1 | Calidad del agua..... | 28 |

| | | |
|--------|---|----|
| 6.2 | Ictiofauna neotropical de Colombia | 29 |
| 6.3 | Diversidad morfológica de la ictiofauna neotropical de agua dulce | 29 |
| 6.4 | Metales pesados | 30 |
| 6.5 | Fuentes de contaminación por metales pesados | 31 |
| 6.6 | Distribución de los metales pesados | 31 |
| 6.7 | Factores que afectan la acumulación de metales pesados en peces..... | 32 |
| 6.8 | Toxicidad de metales pesados en peces..... | 32 |
| 6.8.1 | Cadmio | 32 |
| 6.8.2 | Níquel..... | 33 |
| 6.8.3 | Manganeso | 33 |
| 6.9 | Bioacumulación..... | 33 |
| 6.10 | Daños en el ecosistema..... | 34 |
| 6.11 | Daño en la salud humana..... | 34 |
| 6.12 | Técnica analítica empleada para la determinación de metales pesados | 35 |
| 6.12.1 | Espectrofotometría de absorción atómica | 35 |
| 7 | METODOLOGÍA | 35 |
| 7.1 | Área de estudio | 35 |
| 7.2 | FASE DE CAMPO..... | 36 |
| 7.2.1 | Muestras de agua..... | 36 |
| 7.3 | ESPECIES DE PECES ANALIZADAS | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.3.1 | <i>Prochilodus reticulatus</i> (Valenciennes 1850)..... | 37 |
| 7.3.2 | <i>Pimelodus Grosskopfii</i> Steindacher 1879 | 38 |
| 7.3.3 | Muestreo de peces: | 39 |
| 7.4 | FASE DE LABORATORIO | 39 |
| 7.5 | Método de extracción por digestión ácida de Cd, Mn, Ni en el Agua..... | 39 |
| 7.6 | Método de extracción por digestión ácida de Cd, Mn, Ni en peces | 40 |
| 7.7 | Diseño estadístico | 41 |
| 8 | RESULTADOS..... | 41 |
| 8.1 | DIAGNÓSTICO CONSUMO Y COMERCIALIZACIÓN | 41 |
| 9 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO | 45 |
| 9.1 | Estadística descriptiva | 45 |
| 9.2 | Análisis de los datos: Los resultados obtenidos se presentan a través de (tablas 2, 3, 4 y 5) y las (figuras 9,10 y 11) que permiten ver el comportamiento de cada una de las variables dependientes (Concentración de Cd, Mn y Ni). De manera complementaria también se observó la variación de algunos metales pesados en las dos épocas climáticas (invierno y verano); se tuvieron en cuenta las dos especies de peces de mayor consumo en el Corregimiento de Tres Bocas <i>P. reticulatus</i> y <i>P. grosskopfii</i> , donde se tomaron muestras de tejidos (Branquias, Hígado y Riñón), para cada uno de los factores mencionados. | 45 |
| 9.3 | METALES PESADOS BASADOS EN PROMEDIOS Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA | 50 |
| 10 | Resultado y discusión..... | 53 |

| | | |
|--------|---|----|
| 10.1.1 | Análisis del cadmio en agua..... | 53 |
| 10.1.2 | Análisis del Manganeso en agua | 53 |
| 10.1.3 | Análisis del Níquel en agua..... | 53 |
| 10.1.4 | Análisis del Cadmio en tejidos de <i>Prochilodus reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> 54 | |
| 10.1.5 | Análisis del manganeso en tejidos de <i>P. reticulatus</i> y <i>P. grosskopfii</i> | 56 |
| 10.1.6 | Análisis del Níquel en <i>Prochilodus reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> | 58 |
| 11 | CONCLUSIONES | 60 |
| 12 | RECOMENDACIONES | 61 |
| 13 | BIBLIOGRAFÍA..... | 63 |
| 14 | ANEXOS..... | 69 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Concentración de los metales Cd, Ni y Mn en los tejidos de <i>Prochilodus reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> , en época de invierno y verano..... | 43 |
| Tabla 2. El modelo para el diseño factorial de efectos fijos está dado por:..... | 46 |
| Tabla 3. Diferencias significativas entre las especies, la época y tejido, con un nivel de significancia del 5% para el Cd..... | 47 |
| Tabla 4. Diferencias significativas entre las especies, la época y tejido, con un nivel de significancia fue mayor del 5% para el Mn..... | 48 |
| Tabla 5. Resumen estadístico mediante una ANOVA en relación a las especies, tejidos, época y metales pesados Cd, Mn, Ni..... | 49 |
| Tabla 6. Niveles permisibles según las normas nacionales e internacionales para los metales pesados analizados. | 52 |
| Tabla 7. Especies recolectadas bajo el permiso marco resolución número 200 del 13 abril de 2015 y depositadas en la colección Ictiológica del Museo José Celestino Mutis de la Universidad de Pamplona. | 72 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de las subcuencas que conformar la zona de Tres Boca y puntos de muestreo. | 36 |
| Figura 2. <i>Prochilodus reticulatus</i> (Valenciennes 1850) | 38 |
| Figura 3. <i>Pimelodus grosskopfii</i> Steindacher 1879 | 38 |
| Figura 4. Proceso de disección y extracción de las muestras de hígado, branquia y riñón en peces para la digestión ácida de Cd, Mn, Ni..... | 40 |
| Figura 5. Representación de las especies utilizadas frecuentemente para el consumo diario y comercialización en la zona de Tres Bocas. | 41 |
| Figura 6. Concentración de metales pesados presentes en el agua..... | 42 |
| Figura 7. Concentraciones de Cd, Ni y Mn en tejidos de <i>Prochilodus Reticulatus</i> en invierno y verano..... | 44 |
| Figura 8. Concentraciones de Cd, Ni y Mn en tejidos de <i>Pimelodus grosskopfii</i> en invierno y verano..... | 45 |
| Figura 9. Concentración de Cadmio presentes en <i>Prochilodus Reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> versus tejidos..... | 47 |
| Figura 10. Concentración de Cadmio presentes en <i>Prochilodus Reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> durante la época de invierno y verano..... | 47 |
| Figura 11. Concentración de Manganeso presentes en <i>Prochilodus Reticulatus</i> y <i>Pimelodus grosskopfii</i> durante la época de invierno y verano..... | 48 |

1 RESUMEN DEL PROYECTO

Esta investigación tiene como objetivo la determinación de la presencia de Cadmio (Cd), Níquel (Ni) y Manganeseo (Mn) en el agua y en los tejidos de *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii* en muestras procedentes del corregimiento de Tres Bocas, cuenca del Catatumbo, Norte de Santander, Colombia. En la primera fase se realizó un diagnóstico mediante una encuesta a los pescadores de la zona, para conocer cuales peces capturan y consumen con mayor frecuencia, en la segunda fase se recolectaron 12 muestras de agua y 136 muestras de peces conformadas por hígado, branquias y riñón, con sus respectivos duplicados, los cuales se analizaron mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los resultados obtenidos mediante encuesta, establecieron que un 65% de los pescadores de la zona consumen bocachico (*P. reticulatus*), seguido por un 22% rampuche (*P. grosskopfii*), 9% manamana (*Potamorhina laticeps*), y 4% mariana (*Doraops zuloagai*), se escogieron las especies *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* como objeto de estudio. Las concentraciones de Cd, Ni y Mn en el agua en invierno y verano fue de 0,0 mg/L, con una leve excepción en verano para Mn con 0,0786 mg/L. En *P. reticulatus* se encontró en el hígado 6,8 mg/Kg y en riñón 6,4 mg/Kg de Cd. El Mn en invierno y verano en hígado, osciló entre 2,0 y 6,0 mg/Kg; En *P. grosskopfii* oscilaron entre 0 y 4,8 mg/Kg de Cd, Ni y Mn, las concentraciones más altas se presentaron en branquias con 4,8 mg/Kg de Mn en verano, para soporte la información obtenida se realizó un análisis estadístico mediante una ANOVA, la cual arrojó que existen diferencias significativas entre la época y las especies con un 95% de confianza; el Cd presento elevados valores de hasta 130 veces el límite máximo permisible, y el Mn se encontró en los tejidos hasta 12 veces sobre el rango máximo permisible, según la OMS, *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* no son actos para el consumo humano, en cuanto a la calidad del agua de acuerdo a la normatividad Colombiana es acta para el uso y consumo humano.

Palabras claves: Metales Pesados, Bioacumulación, Peces.

2 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos son un elemento biológico fundamental para el sostenimiento de toda forma de vida. Aproximadamente el 97 % del agua a nivel mundial está formada por mares y océanos, mientras que los recursos de agua dulce constituyen el 3% del agua de la tierra (Shrestha, et al. 2017). Específicamente en el territorio colombiano según el sistema de información ambiental de Colombia, nuestro país es uno de los más ricos en agua, las áreas con mayor uso de agua, son los ríos Magdalena y Cauca con (67% del total), seguida de Caribe (16%), Orinoco (12%), Pacífico (4%) y Amazonas (1%), los sectores que exigen mayor demanda de agua es el agrícola con (46.6% del total), seguido por el sector energético con (21,5% del total), el sector pecuario con (8,5%) y el sector doméstico con (8,2%), sin tener en cuenta el sector ilegal, cabe resaltar que todos estos sectores generan una fuerte presión sobre el recurso hídrico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

En la actualidad una de las problemáticas ambientales más importantes a nivel mundial, nacional y regional es la contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados, la cual se ve expresada en los organismos vivos quienes tienen la capacidad de acumular altas concentraciones de sustancias químicas a través de un proceso denominado bioacumulación, debido a esta circunstancia, los peces son considerados organismos bioindicadores de la calidad del agua; el planeta tierra actualmente afronta una serie de problemas ecológicos procedentes de la contaminación ambiental, la cual genera una huella ecológica mayor en los diferentes organismos (Vivas, et al. 2014), que conduce a la alteración de las características fisicoquímicas y biológicas del medio ambiente. Una causa común es el crecimiento poblacional que conlleva a un aumento de la contaminación proveniente de los asentamientos urbanos, los cuales generan

vertimientos de aguas residuales y descargas industriales, teniendo como resultado un aumento considerable de los metales pesados, generando fuertes alteraciones de los ecosistemas acuáticos y terrestres, como por ejemplo la degradación de los suelos, por el uso excesivo en la utilización de plaguicidas y herbicidas (Alahabadi y Malvandi, 2018).

La contaminación de los cuerpos de agua como se dijo anteriormente se refleja en la alteración de su composición físico-química por la elevada concentración de metales pesados como (Pb), (Fe), (Cu), (Zn), (As), (Cr), (Cd), (Mg), (Ni), (Hg), en conjunto con otros desechos químicos, producidos en los procesos de industrialización de las plantas de tratamiento de minerales, residuos humanos, procesos industriales, y procesos agroindustriales entre otros, los cuales no son susceptibles a una “Bio ni a una quimio-remediación” a corto plazo (Chiang, 1989), conllevando a un grado de toxicidad alarmante para el hombre y todos los seres vivos.

Cabe resaltar que los metales pesados nombrados anteriormente han sido relacionados en diferentes estudios enfocados a la calidad fisicoquímica del agua, sedimento, peces, plantas, suelo y humanos (Babativa y Caicedo, 2018; Mosquera, 2013; Marrugo, et al. 2008; Marrugo, et al. 2007; Olivero, et al. 2004). No obstante, dichos metales, no se eliminan fácilmente de la naturaleza, por lo que tienen un efecto de acumulación en el medio ambiente, al igual que en los organismos vivos, los cuales terminan por expresarse en el organismo, como es el caso de “la bioacumulación, alteraciones bioquímicas o mutagénesis, afectando tanto a plantas como a los animales” dichas afectaciones son más notorias, cuando estos permanecen por largo periodo de tiempo expuestos a estos tipos de contaminantes (Quintero, et al. 2010). La principal vía de acceso al organismo se debe principalmente al consumo de aguas contaminadas, como el caso de alimentos que han sido cultivados con aguas que contienen trazas de metales pesados, esta contaminación principalmente

es de origen antropogénico, lo cual puede llegar a generar diversos tipos de enfermedades y en su gran mayoría relacionadas con el cáncer (Babativa y Caicedo, 2018; Reyes, et al. 2016).

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION

3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables, las cuales son: las fisicoquímicas, microbiológicas y biológicas. A partir de estas características se pueden evaluar la contaminación en un determinado ecosistema acuático y de ellas depende su aceptación o rechazo para el consumo y uso para las diferentes actividades realizadas por el hombre (OMS, 2006). La calidad del agua y su calidad fisicoquímica están siendo alteradas por la contaminación ambiental generada por el desarrollo urbano e industrial y también por un sin número de actividades de origen antrópico. Estas actividades, que son muy variadas, han modificado la estructura e integridad ecosistémica y la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua (Angarita, 2015).

La zona de estudio, conocida como “Tres Bocas”, que sirve como línea divisoria entre Colombia y Venezuela, se caracteriza, por estar conformada por tres diferentes ríos denominados: río Tibú, Presidente y Sardinata, los cuales hacen parte de la cuenca del río Catatumbo. Desafortunadamente no solo comparten sus aguas, sino también el impacto negativo sobre la biodiversidad íctica, pues las especies de peces se están viendo afectadas por cambios comportamentales, bajas en la densidad poblacional, alteraciones del metabolismo hepático, disminución en el peso corporal, toxicidad embrionaria y efectos teratogénicos que provocan producción anormal de embriones, muerte de las especies en el periodo embrionario y de crecimiento (Gallardo, 2005). Las actividades antrópicas que se han asociado a esta problemático, son las prácticas agropecuarias, ganaderas, agrícolas, acompañadas por la tala indiscriminada de

bosques nativos y la minería legal e ilegal, que ejercen una fuerte presión sobre la calidad del agua, ya sea por descargar y/o vertimientos de sustancias tóxicas contaminantes para los ecosistemas acuáticos y terrestres, generando efectos teratogénicos, mutagénicos en las diferentes especies que habitan estos biomas incluyendo al ser humano, es evidente el aumento en el uso de productos químicos de elevada peligrosidad para el medio ambiente y los seres vivos (Angarita, 2015).

En relación a la industria del petróleo, entre los años 2016 al 2019 se han incrementado los derrames de crudo en la estación Caño Limón Coveñas (siendo el último el día 15 de febrero de 2019), consecuencia de los atentados terroristas que ejecutaron grupos armados ilegales, estos derrames de hidrocarburos afectaron a las poblaciones rurales de Teorama, El Tarra y Tibú quedando sin suministro de agua potable (Diario del Huila, 2019; La Opinión, 2019; Tiempo, 2019). La problemática anterior, junto al uso que los pescadores de la zona ejercen sobre los recursos ícticos de la región, se plantea la siguiente pregunta: ¿Existe relación entre la presencia de metales pesados como Cd, Ni y Mn, ¿en agua y tejidos de Bocachico (*Prochilodus reticulatus*) y Rampuche (*Pimelodus grosskopfii*) en el sector de Tres Bocas?

3.2 JUSTIFICACION

Los trabajos realizados en la cuenca del Catatumbo en relación a la determinación de metales pesados en peces es casi nula, en lo que se refiere específicamente al río Tibú y Catatumbo, debido a un largo historial de problemas de orden público y actividades ilegales, que no han permitido acceder a la zona durante varias décadas; los estudios que se han realizado en su gran mayoría están relacionados únicamente con los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua, se destaca el trabajo realizado por Rodríguez y Sobrino (1981), que elaboraron un estudio sobre la biodiversidad íctica, aportando datos sobre los aspectos taxonómicos y la distribución geográfica. Asimismo, Galvis, et al (1997), realizaron un trabajo donde hacen una descripción detallada de los caracteres taxonómicos presentes en la ictiofauna. En contraste, Velásquez, et al. (2012), desarrollaron un estudio de la ontogenia íctica de la cuenca del Catatumbo y Angarita (2015), evaluó la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua.

Por otra parte, los peces son considerados bioindicadores de la calidad del agua o del grado de contaminación del medio acuático, debido a la capacidad de almacenar una mayor cantidad de metales pesados dentro de su organismo, los cuales pueden ser nefastos para la salud humana (Mancera y Álvarez, 2005), porque produce alteraciones cardiacas, enfermedades de tipo pulmonar, cáncer en diferentes órganos y deterioro del sistema nervioso central (Salazar 2009).

La determinación de los niveles de contaminación por metales pesados en agua y en *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* en la zona de Tres Bocas, aportará con los resultados obtenidos a la toma de decisiones en el campo de la salud y del medio ambiente, generando información precisa sobre el estado de la calidad del agua y su relación con la fauna ictiológica y los posibles efectos por la bioacumulación de metales pesados.

En el plano social, esta investigación repercutirá positivamente a nivel local y departamental, brindando nueva información sobre la calidad del agua; se espera que esta información permita generar estrategias a futuro para la conservación de *P. reticulatus* y *P. grosskopfi*, las cuales se encuentran en estado de conservación vulnerable (VU), (Mojica et al., 2012), se espera en un futuro no solo conservar estas especies, si no las demás especies ícticas que integran la red trófica de la cuenca hídrica del Catatumbo. Este trabajo pretende contribuir con información de línea base de gran utilidad para entidades públicas encargadas de las políticas de gestión del agua y sus servicios ecosistémicos asociados como: Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) y la Empresa municipal de Servicios Públicos de Tibú (EMTIBÚ), entre otras instituciones públicas o privadas que trabajan en el área de la salud humana.

4 **Objetivos**

4.1 **Objetivo general**

Determinar la concentración de metales pesados (Cd, Ni, Mn) en agua y tejidos del Bocachico (*Prochilodus reticulatus*) y Rampuche (*Pimelodus grosskopfii*) en el corregimiento de Tres Bocas, cuenca del Catatumbo, Norte de Santander, Colombia.

4.2 **Objetivos específicos**

Diagnosticar mediante encuestas a la comunidad de pescadores del corregimiento del Tres Bocas, sobre las especies de peces que consumen y comercializan con mayor frecuencia.

Determinar la concentración de metales pesados (Mn, Cd, Ni) en el agua del corregimiento Tres Bocas, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

Cuantificar los metales pesados (Mn, Cd, Ni) en muestras de hígado, branquias y riñón en *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii*, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

Socializar a la comunidad de pescadores y a la fundación peces del Catatumbo del corregimiento de Tres Bocas, los resultados del proyecto, para generar en ellos una apropiación activa hacia la conservación de ese cuerpo de agua y de su biodiversidad.

5 MARCO DE REFERENCIA.

5.1 ANTECEDENTES

5.1.1 Antecedentes Internacionales

La industrial a nivel mundial y la gran explosión demográfica y el desarrollo de las actividades humanas en especial sobre la agricultura que implementa el uso de agroquímicos, los causales son una fuente de contaminación en los ecosistemas hídricos de la tierra. Es así, como las aguas residuales e industriales generadas por las actividades humanas, están siendo vertidas a los ecosistemas acuáticos sin tratamientos adecuados, y donde los metales pesados se escapan al medio ambiente sin ningún tipo de control ambiental, generando problemas ambientales especialmente en los peces, los cuales acumulan los metales pesados en los diferentes tejidos que los conforman por lo cual los autores buscaban generar una investigación que condujeran a reducir la presencia de metales pesados en los organismos acuáticos y en el agua (Şaşı, et al. 2018).

Un estudio realizado en el Estero Salado, en la costa de Ecuador se determinaron las concentración de Cd y Pb en muestras de agua, sedimento, hojas de mangles en especies como *Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, y gasterópodos en *Littorina varia*, *Cerithidea mazatlanica* (Pernía, et al. 2018). Las muestras fueron analizadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica de flama y cuyos resultados evidenciaron valores altos de Cd y Pb en agua y sedimento superando los niveles permisibles por las normas establecidas ecuatorianas y canadiense, los gasterópodos demostraron ser los mejores indicadores de contaminación al acumular en sus tejidos blandos grandes cantidades de metales, se resalta que en este trabajo en las hojas no se encontraron metales pesados (Pernía, et al. 2018).

En esta investigación se determinaron las concentraciones de metales pesados en Hg, Pb y Cd, en muestras de filete de pescado Basa o *Pangasius hypophthalmus*, el cual es una especie propia de Tailandia y Vietnam, los resultados de los metales arrojaron en *Pangasius hypophthalmus*, valores inferiores a los límites máximos permitidos según el acuerdo 333/2007 de las normas de la Unión Europea (Morales, 2019).

El propósito de esta investigación fue analizar la presencia y concentración de metales pesados Ag, As, Cr, Pb, V, Cd y Zn, en el Embalse Cerrillos de Ponce como parte de un monitoreo de la calidad del agua, se realizó un muestreo simple en tres puntos del embalse, descritos como zonas A, B y C, por un periodo de nueve meses. Las muestras se analizaron mediante un inductor de plasma acoplado por emisión de espectroscopia óptica (ICP-OES 3300 XL). Los resultados obtenidos demostraron que los metales pesados Ag, As, Cr, Pb, V, Cd y Zn excedieron el límite permitido por la OMS y la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los EUA (Colón, 2019).

En Ecuador, Provincia de los Ríos, ríos Cantón Babahoyo, en cuatro puntos diferentes, se determinó la concentración de Cd en el hígado y músculo de *Hoplias microlepis* y *Pseudocurimata bolengeri*, la concentración del Cd en el tejido muscular de ambas especies fue menor al límite de cuantificación del método ($<0,014$ mg/Kg) (Rosario, 2019). Este trabajo encontró que existen diferencias significativas para las muestras de hígado en ambas especies, la mayor concentración de Cd en hígado se observó en la especie *P. bolengeri* ($0,63 \pm 0,188$ mg/kg) y la menor concentración en *H. microlepis* ($0,003 \pm 0,036$ mg/kg), valores por encima del límite máximo permisible ($0,05$ mg/Kg) de acuerdo a lo establecido por la Unión Europea (Rosario, 2019). La correlación entre peso y talla fue directamente proporcional entre sí ($r=0,963$; $p=0,000$), la concentración de Cd en hígado fue inversamente proporcional a la talla y peso, la madurez sexual

se presentó directamente proporcional a la concentración de Cd ($r=0,880$; $p=0,000$) (Rosario, 2019).

5.1.2 Antecedentes Nacionales

En el panorama nacional se han realizado varios estudios que tienen como propósito fundamental encontrar metales pesados en especies ícticas y agua. Ruiz, et al. (1996), evaluó el riesgo de la contaminación por Cd, Cu, Pb y Zn en la zona cercana al puerto de Honda en el río Magdalena para la población humana que consume las especies *Pimelodus clarias* (nicuro) y *Prochilodus magdalenae* (bocachico), encontrando que la contaminación que existe en la cuenca del río Magdalena son productos del avance de las diferentes actividades a lo largo y ancho de toda su expansión de múltiples acciones agropecuarias e industriales, en las cuales se destaca la minería artesanal, la industria petrolera y la petroquímica, que se da en la región de la Mojana sucreña, donde se han visto sometidos a un sin número de procesos de contaminación debido al alto uso indiscriminado del mercurio que se utiliza en la extracción de oro en las mineras que trabajan a cielo abierto en toda la región que esta termina desembocando en los tres principales afluentes que son los ríos Cauca, San Jorge y Magdalena (Ruiz et al., 1996); sus resultados arrojaron que las concentraciones de (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn), es peligrosa en el caso del Hg y del Cd que exhiben niveles que pueden generar un peligro para la salud de los pescadores y sus familias en la localidad de Honda, sobre el río Magdalena, que consumen de manera constante el nicuro y bocachico, especies en las que los niveles de Hg encontrados llegaron a valores máximos de 2,6 y 3,53 mg/kg de Hg, y en Cd valores de 0,104 y 0,256 mg/kg de Cd, respectivamente no se detectaron niveles de contaminación por Pb en *P. clarias* (nicuro) y en *P. magdalenae* (bocachico), este metal solo fue detectado en tres individuos de 39 analizados que exhibieron un máximo de 4,76 µg/g. El

bocachico presentó en el tejido muscular niveles superiores de cadmio, Cu: no se detectó y Zn: 10,81-23,95 mg/kg y en el *P. clarias* (nicuro), el cual presentó niveles más altos de mercurio.

En la costa de la Guajira, se llevó a cabo un estudio metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* y sedimento, utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica y cuyos resultados indican que las concentraciones de metales pesados no representan un riesgo para los organismos marinos ni para las dos especies, concluyendo que las concentraciones encontradas no sobrepasan los límites establecidos por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos de América (Barros, et al. 2016).

En este estudio se determinando la relación entre la ingesta de pescado y las concentraciones de Hg en el cabello de pobladores de la cuenca del río San Jorge en el departamento de Córdoba, las especies evaluadas fueron *Sorubim cuspicaudus* y *Prochilodus magdalenae*, se utilizó la técnica de espectrometría de absorción atómica por vapor frío. Los resultados obtenidos demostraron una relación directamente proporcional entre las concentraciones de Hg en el cabello y el consumo de pescado, las concentraciones se encontraron en un rango permitido de acuerdo con lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1990; Gracia, et al. 2016).

Un estudio realizado en la ciénaga de Mallorquín en el Atlántico colombiano, se evaluaron las concentraciones de metales pesados en músculo e hígado de las especies (*Mugil curema*, *Eugerres plumieri*, *Arius bonillai*, *Centropomus undecimalis* y *Lutjanus griseus*). Las muestras de tejido de las diferentes especies fueron analizadas por la técnica de espectrometría de absorción atómica, el resultado obtenido evidenció procesos de bioacumulación asociado a metales pesados en ambos tejidos, concluyendo que las ingestas de estas especies de peces representan un peligro para la

salud pública, por presentar concentraciones altas de metales pesados que superan el límite permitido por la normatividad ambiental de Colombia (Fuentes, et al. 2018).

5.1.3 Antecedentes Regionales

A nivel regional se han realizado estudios concernientes a la contaminación de los ríos que pueden afectar a los organismos que habitan en estos ecosistemas acuáticos. Entre estos estudios encontramos uno realizado en la ictiofauna del río Pamplonita, donde se colectaron 536 especímenes, con nueve especies pertenecientes a cuatro órdenes y seis familias. La especie más abundante fue *Chaetostoma spl* y la de rango de distribución más amplio fue *Sturisomatichthys spl*. En este estudio se identificaron tres especies nuevas especies de peces, asimismo, se dilucido que la comunidad biológica está afectada por elementos ambientales. Por último, se encontró que la calidad del agua es mala por la alta contaminación generada por las diferentes acciones humanas en el medio de estudio. El agua se categorizó como mala, debiéndose a los procesos de mineralización y por la contaminación por materia orgánico (Solano, 2007).

Arrieta, et al. (2015), analizaron la presencia de trazas de Cd, Cu, Mo, Pb y Zn en Mojarra roja *Oreochromis spp*, y también en carne de cerdo, res y pollo, comercializada en 12 establecimientos de la plaza de mercado de Pamplona, Norte de Santander, los metales analizados en las diferentes muestras de: pescado, pollo, res, cerdo arrojaron concentraciones para el Cd; en el pescado se obtuvo la mayor concentración de este metal que fue de 0,117mg/kg, seguido por 0,109 mg/kg en res, mientras que en cerdo se obtuvo 0,095 mg/kg de Cd y por último en muestras de pollo se obtuvo 0,079 mg/kg de Cd, para el Cobre (Cu) se obtuvo 0,343 mg/kg en pescado, en res 0,306 mg/kg, cerdo 0,243 mg/kg y en pollo 0,221 mg/kg de Cu, el contenido de Zinc (Zn) en res reveló mayor contenido 8,35 mg/kg, en pollo arrojó el menor contenido de Zn de 0,577 mg/kg, cerdo

0,755 mg/kg , y en pescado 3,519 mg/ kg de Zn, para el Plomo (Pb) en cerdo 0,067 mg/ kg, en pescado 0,042 mg/ kg, pollo 0,046 mg/ kg, y res 0,84 mg/ kg de Pb y por último el Molibdeno (Mo) no fue detectado en ninguna de las muestras carne de res, pollo, cerdo y pescado. En el caso del Cd y el Zn los valores superaron los límites permisibles establecidos por la legislación europea de 0.010 mg/kg y 0.050 mg/kg, respectivamente (Arrieta, et al. 2015). Sin embargo, la concentración de Pb no superó el límite permisible de 0.30 mg/kg para la carne de pescado.

En otro estudio se realizó la cuantificación metales pesados en la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) cultivada en el municipio de Mutiscua, Norte de Santander, teniendo como objetivo determinar la presencia de Cd, Cu y Pb, en muestras de carne, vísceras y piel, utilizando la técnica de espectroscopia de absorción atómica, con llama aire acetileno, los resultados indicaron valores de Pb de 0,3 (mg kg⁻¹) en vísceras y piel, las concentraciones de Cd fue 0,07; 0,14 y 0,06 - 0,08 (mg kg⁻¹) superando los parámetros establecidos por la norma de la Unión Europea (Reglamento (UE) 488/2014 de 12 de mayo de 2014), en cuanto al Cu sus rangos estaban en concentraciones admitidas por la Unión Europea (Arrieta, et al. 2016).

Se analizó la calidad del agua en la quebrada Zipacha, encontrando contaminación por mineralización, desechos orgánicos, presencia de *E. coli* y metales pesados como Fe, Zn y Cu, y los causales están asociados a los vertimientos de lixiviados producidos en el relleno sanitario y procesos agrícolas que terminan por afectar la calidad del agua de la quebrada (Carrillo, 2018).

Se realizó un estudio en el río Pamplonita, inventariando la diversidad íctica y evaluando la calidad del agua en la zona alta media y baja del río arrojando como resultados de 272 individuos, distribuidos en 63 especies pertenecientes a 7 órdenes y 25 familias taxonómicas donde predominan Characiformes, Siluriformes como los taxones más diversos dentro de los mismo también se hallaron 2 especies exóticas (trucha, *Oncorhynchus mykiss* y tilapia, *Oreochromis sp.*),

8 categorizadas como vulnerables por el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia, 12 con importancia económica ornamental, 23 con importancia para el consumo humano y 31 endémicas de la cuenca del Lago Maracaibo. En el caso del agua se evidencio claramente la calidad es cambiante en todo el recorrido del rio esto se le atribuye a diferentes factores ambientales y antrópicos (Pimienta, et al. 2014).

5.1.4 Antecedentes locales

A nivel local se han realizado inventarios de las especies ícticas y calidad fisicoquímica. Se destaca el trabajo realizado por Baron y Rodriguez (1992), quienes realizaron un estudio de la diversidad íctica en la cuenca del Catatumbo, donde las especies evaluadas fueron las de mayor consumo y uso comercial de la zona donde se obtuvieron como resultados 32 especies, 4 órdenes, 14 familias y 28 géneros.

Galvis, et al. (1997), quienes a partir de la información recopilada escriben un libro denominado “Peces del Catatumbo” en el cual se presentan los aspectos generales de la cuenca su hidrología, además se discute el origen y evolución biogeográfica de la cuenca del Catatumbo y una descripción taxonómica de la ictiofauna, los resultados arrojaron 84 especies representadas en 7 órdenes, 14 familias y 28 géneros.

En una investigación que se realizó en la cuenca del Catatumbo tuvieron como objetivo determinar metales pesados utilizaron la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío para el caso del mercurio y para los demás metales se utilizó la espectrofotometría con plasma acoplado inductivamente. Los resultados se expresaron en mg/kg es decir miligramos de metal sobre kilogramos de pescado en peso seco, las concentraciones halladas variaron según los siguientes intervalos: $2,5 < Al < 281,14$; $2,28 < As < 17,25$; $0,12 < Cd < 1,02$; $1,22 < Cu < 49,93$; $0,07 < Cr$

<33,99; 0,06 <Hg<2,62; 0,25<Ni <170,08 ; 1,35<pb<9,89 ; 0,13<V< 2,62 observándose que en algunos metales la concentración aumenta y en otros disminuye, en relación a otros estudios reportados donde se usaron los mismo metales, destacando que en la mayoría de los casos estas concentraciones halladas sobre pasa los límites permisibles que están establecidos en las normas internacionales tanto para pescado como para el consumo humano (Hermoso y Márquez, 2005).

En la cuenca del río Catatumbo y del Lago de Maracaibo se caracteriza por ser una región con muchos ecosistemas acuáticos donde existen un sinnúmero de especies de peces; las cuales se ven perturbadas por las actividades humanas que terminan afectando la riqueza y abundancia. En una revisión de las colecciones de peces de la cuenca del Catatumbo y del Lago de Maracaibo se encontraron en total 109 especies nativas 14 de procedencia marina y estuarina distribuidas en la cuenca del río Catatumbo, en el lago de Maracaibo se hallaron 10 órdenes, 39 familias y 91 géneros. En este estudio el Orden dominante fue el de los Siluriformes Ortega, et al. (2012).

Se realizó un estudio de la representación ontológica y aspectos más sobresalientes de la ictiología de la cuenca del Catatumbo, basado en la recopilación de los diferentes caracteres taxonómicos para las especies de peces del Catatumbo, para lo cual usaron una metodología denominada Methontology la cual codifico un modelo ontológico OWT, y una base de datos mejor estructuradas sobre la jerarquía de la ictiofauna del Catatumbo Velásquez, et al. (2012).

Por último, se realizó un estudio de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río Catatumbo para determina la contaminación de hidrocarburos del municipio de Teorama, por medio de este trabajo se pretendió garantizar que el agua para consumo de los moradores y de los diferentes asentamientos indígenas Bari que habitan esta zona tenga óptimas condiciones de

consumo. Lo anterior, permite orientar la toma de decisiones en lo que concierne a acciones tendientes a la recuperación y protección de la calidad del agua del río Catatumbo Angarita (2015).

6 MARCO CONTEXTUAL

6.1 MARCO TEÓRICO

6.1.1 Calidad del agua

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Tienen una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza, esta influencia no solo se debe a sus propiedades fisicoquímicas como molécula bipolar sino también, a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella (Cañizares, 2000). La calidad del agua está determinada por la hidrología, la fisicoquímica y la biología de la masa del tipo de agua a que se refiera (Cañizares, 2000).

La calidad del agua está determinada por un conjunto de características físicas químicas y microbiológicas que le confieren propiedades idóneas esblencados por normas específicas que le permiten uno o varios usos ya sea para el consumo humano, preservación de fauna y flora o en otros casos para procesos industriales (Lozano, 2013).

. El agua tiene una estrecha relación con los seres vivos ya que influye directamente en los procesos bioquímicos y biológicos (Lozano, 2013).

Para conocer los parámetros de la calidad de agua hay que conocer los factores físicos, químicos y microbiológicos entre los principales según la metodología estandarizada por APHA (2017), el color está determinado por la presencia de materia orgánica específicamente de origen vegetal o microbiológico, condicionado por la presencia de iones metálicos (hierro y magnesio) el método estándar para la medición de color es el platino cobalto. Este método es aplicable para aguas potables y residuales de origen doméstico o industrial. La Turbidez es el grado de transparencia y

está determinada por los materiales en suspensión de origen orgánico e inorgánico como arcilla, plantón y otros organismos microscópicos, el método estándar para determinar la turbidez, se ha basado en el turbidímetro de vela Jackson. La Acidez es la capacidad de reaccionar una base fuerte con un pH designado, la acidez influye en reacciones químicas, en procesos biológicos e indica la variación de la calidad de los cuerpos de agua. Demanda Química de Oxígeno (DQO), es un parámetro utilizados estudios de agua residuales mediada por la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para metabolizar los compuestos orgánicos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es un parámetro utilizados para metabolizar los compuestos orgánicos mediante oxidación microbológica (UPO, 2004).

6.2 Ictiofauna neotropical de Colombia

Estudios realizados en la fauna ictiológica en la región Neotropical han demostrado que posee una gran riqueza colocándola como la más diversa a nivel mundial, aproximadamente hay entre 2.500 y 3.000 especies (Böhlke et al., 1978). Colombia se considera un área clave del neotrópico para determinar la diversidad del territorio debido a la gran extensión hidrológica que se encuentra localizada en las zonas de las regiones de Amazonas, Orinoco, Magdalena, Cauca, Pacífico y Caribe, importantes por los procesos de distribución geográfica de la fauna, flora y los procesos de la ictiofauna Neotropical (Lundberg, 1998).

6.3 Diversidad morfológica de la ictiofauna neotropical de agua dulce

Existe una gran diversidad específica tanto en la anatomía externa como interna en el neotrópico, principalmente en el superorden ostariofisios (Starks, 1926). Según De Pina, (1993), el orden de los Siluriformes se ha adaptado a una enorme variedad de formas y condiciones que les ha otorgado la posibilidad de colonizar diversos hábitats, como los habitantes del fondo de los ríos, adquiriendo otras adaptaciones como los loricados raspadores de algas, hasta los

Planctofagos, Pelágicos hipofthalmidos, pasando por los tricomictéridos parásitos (Hematófagos y Lepidofagos) además, algunas especies del orden de los Siluriformes no tienen semejanza alguna con otras especies de otras regiones del mundo (De Pina, 1993).

La Ictiofauna que se encuentra en la cuenca del río Pamplonita según los estudios realizados de peces ha permitido establecer un registro de las especies que habitan este cuerpo de agua, dentro de las cuales se encuentran, 63 especies pertenecientes a 7 órdenes y 25 familias, donde predominan los órdenes Characiformes, Siluriformes y Perciformes, como los más diversos (Rueda et al., 2015).. En la cuenca se presentan tres especies catalogadas como “Vulnerables”, *Mylossoma acanthogaster*, *Prochilodus reticulatus*, *Duopalatinus malarma* según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (Rueda et al., 2015).

6.4 Metales pesados

Los metales pesados están constituidos y hacen parte de elementos químicos que exhiben propiedades metálicas con una propiedad mayor o igual a 5 g/cm masa y peso atómico mayor de 20 (Londoño et al., 2016).

. El rasgo distintivo en la fisiología de los metales pesados es que muchos de ellos son esenciales para llevar a cabo funciones biológicas como son (Cobre, Zinc, Hierro, Sodio, Potasio, Magnesio, Calcio), sin embargo, cuando los niveles de estos elementos se encuentran fuera de su rango normal pueden alterar los procesos bioquímicos y fisiológicos (Londoño et al., 2016).

Los metales pesados se encuentran principalmente en la corteza terrestre y tienen la capacidad de acumularse cuando se encuentran en concentraciones elevadas en los ecosistemas acuáticos y terrestres, no solo se encuentran en el manto de la tierra, sino que también en la especie humana, pero existen procesos antropogénicos como la actividad industrial y la agricultura que son fuentes directas de metales pesados (Ferré et al., 2007).

6.5 Fuentes de contaminación por metales pesados

Los metales pesados se encuentran en la corteza terrestre, ríos y en sistemas marinos, producidos por fuentes naturales y antrópicas, entre las fuentes naturales se encuentran los drenajes continentales, la erosión de los suelos y las depositadas en la atmósfera, existen tres fuentes antropogénicas según (Cheung et al., (2008); Dobaradaran et al., (2010); Jaramillo, (2009); Maceda et al., (2012)).

- Materiales relacionados con la agricultura y ganadería, como los pesticidas, fungicidas, los cuales afectan la funcionalidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres (Jaramillo, 2009).
- Las actividades industriales producen escorrentías que poseen contaminantes de alto grado de corrosión que van acompañados de diversos metales pesados que no son tratados por plantas de tratamiento de aguas residuales (Lombardi et al., 2010; Maceda et al., 2012).
- Otras fuentes de metales pesados son la extracción industrial de metales preciosos como los diamantes y la extracción de oro (Jaramillo, 2009).

6.6 Distribución de los metales pesados

Los metales pesados pueden estar presentes en el ambiente tanto en fases sólidas y en solución. Cuando están presentes en el suelo la fase sólida es inmóvil, inerte e inofensiva. Mientras que en la fase acuosa son móviles y tóxicos; en la fase sólida, se inmovilizan a través de adsorción en componentes orgánicos e inorgánicos del suelo se puede precipitar como sólidos puros (Ogundiran y Osibanjo, 2015). Sin embargo, los iones de los metales pesados en la fase sólida pueden estar disponibles si hay cambio en el catión del suelo, pH o potencial de reducción de oxidación (Ogundiran y Osibanjo, 2015). Los metales pueden existir en la fase de solución del suelo como metal libre, iones libres (Mclean y Bledsoe, 1992). La migración de los metales pesados desde el suelo a otros medios tales como agua, aire y consecuentemente sistemas biológicos, depende de

las diferentes formas en que se encuentren en el suelo. Si se encuentra principalmente en la forma soluble, pueden ser lixiviados por el perfil del suelo alcanzando el agua subterránea o recogida y acumulada por plantas, invertebrados, animales y el hombre (Chopin et al., 2003; Eens et al., 1999; Maramba et al., 2006; Van Straalen et al., 2005).

6.7 Factores que afectan la acumulación de metales pesados en peces.

El medio acuático se puede ver afectado por los contaminantes presentes naturalmente o por los introducidos artificialmente por las actividades humanas, estos se encuentran distribuidos en los compartimientos suelo agua y organismos vivos, a su vez están influenciadas por las características fisicoquímicas del agua y del sedimento que las conforman (Anadon et al., 1984).

6.8 Toxicidad de metales pesados en peces

Los metales pesados se clasifican en tres categorías dependiendo del grado de afectación y acumulación en el organismo, en primer grado, el nivel de trazas, donde las cantidades adecuadas de estos metales son de importancia para llevar a cabo los procesos de reacciones enzimáticas indispensables para el metabolismo (Labat y Pequignot, 1974); el segundo grado, es un exceso de los metales pesados en su ambiente y que tiende a acumularse progresivamente en determinados órganos; y un tercer grado, es la imposibilidad de llevar a cabo procesos celulares imposibilitando la absorción de estos metales a través de la membrana celular (Labat y Pequignot, 1974).

6.8.1 Cadmio

Vías de entrada al organismo: la principal vía de entrada se genera a través de la ingesta de los alimentos contaminados de origen acuático, por el consumo de tabaco y la inhalación de material particulados presentes en el ambiente (Rodríguez, 2017). La ingesta de estos metales en elevadas concentraciones causa daños graves en los órganos como cáncer daños renales alteración en la presión arterial y enfermedades asociadas con las vías respiratorias cuando se produce la ingesta

del cadmio prolongadas, la ingesta elevada para los humanos causa secuelas en el sistema nervioso (Rodríguez, 2017).

6.8.2 **Níquel**

Vías de entrada al organismo: suelos contaminados y por la inhalación de gases de níquel los humanos suelen entrar en contacto al respirar el aire, tomar agua, ingesta de alimentos y fumar tabaco. Efecto para la salud: en cantidades adecuadas el níquel es esencial, pero en cantidades elevadas es nefasto para la salud provocando mareo embolia pulmonar y fallos respiratorio al tomar altas cantidades de este metal además puede provocar irritación en la piel alteraciones cardíacas y están asociado a varios tipos de cáncer en las vías respiratorias (Rodríguez, 2017).

6.8.3 **Manganeso**

Para la especie animal el manganeso es de vital importancia para llevar a cabo procesos enzimáticos para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas este en cantidades bajas afecta el desarrollo embrionario además impide un crecimiento normal, pero en cantidades elevadas es perjudicial es decir puede provocar la muerte causando enfermedades del sistema nervioso como pérdida del equilibrio y temblor (Gómez y Sotés, 2014).

6.9 **Bioacumulación**

Los metales pesados son potencialmente tóxicos y la presencia de estos va en aumento debido a las actividades antrópicas producidas por el hombre en las últimas décadas. Estos contaminantes son depositados en los ecosistemas acuáticos y terrestres alterando negativamente la biota, pero sin embargo en cantidades adecuadas los metales son esenciales para llevar a cabo el metabolismo celular (Hopkins, et al. 2003). En el ecosistema acuático la vía de entrada se ejerce a través del agua que ingresa por la boca y branquias, en menor medida por la piel, algunos son expulsados en

la excreción y otros son acumulados, produciendo alteraciones en el comportamiento y el desarrollo embrionario (Hopkins, et al. 2003).

6.10 Daños en el ecosistema

La persistencia del Mercurio, Níquel y Cadmio en el medio ambiente al igual que otros contaminantes metálicos, es desfavorable para la flora y fauna, con repercusiones indeseables para los humanos. De igual para las especies acuáticos, debido a que en algunos casos las reacciones de esos elementos desembocan en formas más tóxicas de los metales. Uno de los problemas más graves es la amplificación biológica de los elementos en la cadena trófica. Se conoce que el mercurio y sus compuestos son tóxicos para todos los organismos vivos pueden producir una serie de desórdenes neurológicos, fisiológicos, de actividad enzimática, efectos teratogénicos, mutagénicos, desarrollo de problemas de reproducción, etc (Peña, et al. 2005). La Agencia para la Protección Ambiental- EPA (1980, 1984 a, b, c, d) ha realizado numerosos estudios sobre la toxicidad y bioacumulación en plantas y animales acuáticos, en los cuales se explica ampliamente los efectos biológicos de la contaminación por metales pesados (Peña, et al. 2005).

6.11 Daño en la salud humana

Los iones de los principales metales son tóxicos, peligrosos para los seres humanos, así como otras formas de vida. Son Cr, Fe, Se, V, Cu, Co, Ni, Cd, Hg, As, Pb, Zn, etc (Ahumada et al, 2015). metales pesados son de interés específico debido a su toxicidad, bajo ciertas condiciones ambientales, los metales pesados pueden acumularse hasta niveles muy altos y causar daños ecológicos. Además de tener grandes efectos sobre los diversos ecosistemas, los metales pesados tienen una gran incidencia en altas concentraciones en la salud humana causando un sinnúmero de enfermedades. Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10 % del plomo ingerido es excretado en la

orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90% del Pb que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y otro poco pasa a través del torrente sanguíneo y puede depositarse en los tejidos (Calabuig, 2005).

6.12 Técnica analítica empleada para la determinación de metales pesados

6.12.1 Espectrofotometría de absorción atómica

La espectrometría de absorción atómica es un método para detectar elementos químicos, principalmente se utiliza para detectar metales pesados provenientes de muestras de agua y muestras de tipo alimenticia el método consiste en someter a altas temperaturas para la pulverización del material para lograr un rompimiento de los átomos que los constituye y así sea más viable para el equipo la lectura de los elementos químicos (Varon, 2009) .

Paralelamente, la solución de la muestra es aspirada hacia el interior de la flama. Antes de entrar en ésta, la solución es esparcida constituyendo una nube de gotas muy finas, que se volatilizan en la flama dando inicialmente la sal seca y luego el vapor de la sal, el cual se disocia, por lo menos en parte, en átomos del elemento que se desea determinar (Walton y Reyes, 2005).

7 METODOLOGÍA

7.1 Área de estudio

El área de la presente investigación se encuentra en la Cuenca del Catatumbo en el departamento de Norte de Santander, municipio de Tibú, Corregimiento de Tres Bocas, en las coordenadas longitud 8.610597, y latitud -72.663165, cuya altura puede oscilar entre los 75 y 38 m.s.n.m, la región del Catatumbo tiene una extensión de 2.696 km², con una temperatura media de 32 °C, dicha zona se caracteriza por la presencia de asentamientos indígenas pertenecientes a la Etnia Motilón Barí, la cuenca del Catatumbo es considerada como un área de importancia petrolera en la cual se destaca el oleoducto Caño Limón Coveñas. El municipio de Tibú presenta un gran

recurso hídrico conformado por los ríos: Catatumbo, San Miguel, Socavo Norte, Chiquito, Sardinata, Nuevo Presidente, Tibú, Socavo Sur y río de Oro, además de numerosas corrientes menores (Corponor, 2016), la zona en la que se desarrollará la investigación está constituida por las subzonas hidrográficas del río Nuevo, Sardinata y Tibú los cuales confluyen en el corregimiento de Tres Bocas (Fig. 1), (IDEAM, 2013).



Figura 1. Mapa de las subcuencas que conformar la zona de Tres Boca y punto de muestreo, elaborado mediante el uso del software QGIS 3.14.1 (QGIS, 2020).

7.2 FASE DE CAMPO

7.2.1 Muestras de agua

Las muestras de agua se tomaron de manera superficial, mediante el método de toma de muestra simple a una profundidad entre 20 a 50 cm, se recolectaron en total 12 muestras de agua cada una

con un volumen de 2000 ml, para lo cual se utilizó frascos de vidrio estériles debidamente rotulados. Las muestras se tomaron en el centro del cuerpo de agua en el mismo sitio donde se recolectaron los peces, consecutivamente se almacenaron en una cava con hielo a 4 °C, seguidamente a uno de los frascos se le adiciono ácido nítrico concentrado HNO₃ para su conservación (APHA et al., 2017), posteriormente las muestras ya rotuladas y selladas, se llevaron al Laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona, el análisis de la muestra de agua, requirió de la toma de 50 ml de cada submuestra, con un volumen final de 150 ml, obteniendo finalmente unas muestras homogenizadas de acuerdo al protocolo estandarizado por (APHA et al., 2017).

7.3 ESPECIES DE PECES ANALIZADAS

7.3.1 *Prochilodus reticulatus* (Valenciennes 1850)

El bocachico como se la llama comúnmente es de la familia Prochilodontidae, y tiene las siguientes características morfológicas: boca pequeña, labios carnosos en forma de disco, dientes pequeños, la aleta caudal bifurcada bien diferenciada, presencia de línea lateral casi a la mitad del cuerpo, escamas ásperas y de color plateada, con una dieta alimenticia basada en Detritus y Perifitón, lo que les permite habitar en ciénagas y ríos, *P. reticulatus*, es un pez migratorio que durante las épocas de estiaje tienden a migran hacia las zonas medias y altas de los ríos buscando las corrientes de agua (Mojica et al., 2012). *P. reticulatus* (Fig.2), se encuentra en estado de conservación vulnerable (VU), según el libro rojo de peces dulciacuícolas de Colombia (Mojica et al., 2012), su estado de conservación se asocia a la pesca intensiva de la especie, según el libro peces de Catatumbo esta especie es la de mayor consumo y de uso comercial por los habitantes de la región catatumbera y aporta el 40% de la pesca artesanal que se practica en la región, anexo a ese factor *P. reticulatus* es una especie endémica de la cuenca del Catatumbo (Galvis et al., 1997).

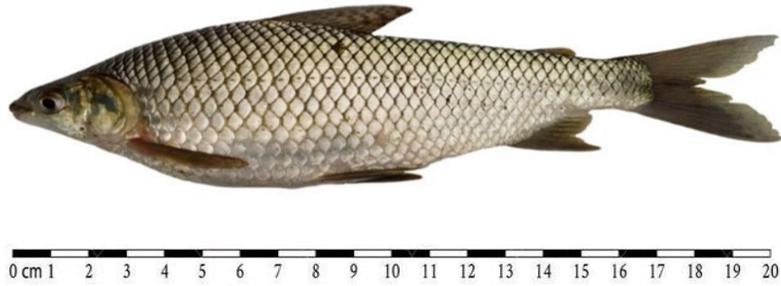


Figura 2. *Prochilodus reticulatus* (Valenciennes 1850)

7.3.2 *Pimelodus grosskopfii* Steindacher 1879

Conocido por su nombre común como rampuche o bagre mierdero, *P. grosskopfii* (Fig.3), es un integrante de la familia Pimelodidae, se caracteriza por una coloración gris plateado con pequeñas manchas distribuidas a todo lo largo, con presencia de placas óseas en su cuerpo, este carácter lo ubica dentro del orden de Siluriformes, con una dieta basada en insectos es decir son carnívoros; y llegan a ser coprófagos según Mojica, et al. (2012). En el libro rojo de peces dulciacuícolas de Colombia se encuentra en estado vulnerable (VU), su estado de conservación se le atribuye a la pesca excesiva durante todo el año, se encuentra distribuida en la cuenca del Catatumbo y la cuenca del Magdalena de la cual es endémica (Mojica et al., 2012).

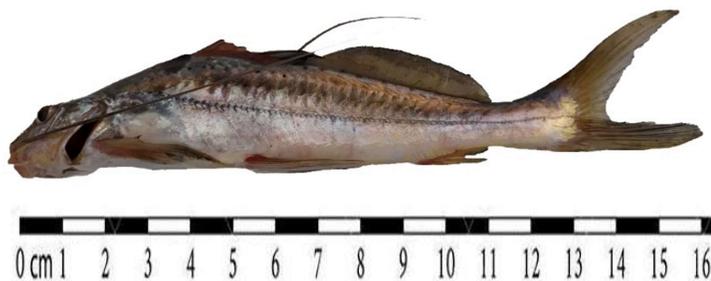


Figura 3. *Pimelodus grosskopfii* Steindacher 1879

7.3.3 Muestreo de peces:

Para la recolección de las muestras de peces se empleó el arte de pesca por atarraya, las muestras se colocaron en bolsas ziploc, seguidamente se rotularon con los siguientes datos nombre común, nombre científico, localidad, coordenadas, fecha de recolecta, colector, nombre del río, nombre del proyecto y colectores, posteriormente se guardaron en una cava con hielo, subsiguientemente se extrajeron en total 136 muestras de tejido (hígado, branquias y riñón), mediante la utilización de un cuchillo de plástico esterilizado (Lozada, 2007), dichas muestras se guardaron en bolsas de ziploc rotuladas con la misma información que se utilizó para los peces, las muestras se conservaron en cavas con hielo seco, y se transportaron al Laboratorio de Control y Calidad de la Universidad de Pamplona, (Corponor ,2015) bajo el Permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, para asegurar la calidad de las muestras se aplicó el protocolo establecido por (APHA et al., 2017).

7.4 FASE DE LABORATORIO

7.5 Método de extracción por digestión ácida de Cd, Mn, Ni en el Agua

Se midió 150 ml de la muestra en un vaso de precipitado previamente lavado con una solución de $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$ destilada en proporción de (1:1). Inmediatamente se añadieron 2 ml de HNO_3 concentrado y 5 ml de HCL concentrado, posteriormente se cubrió con un vidrio reloj y se colocaron en el vaso de precipitado en baño de María a $90\text{ }^\circ\text{C}$, hasta llegar a ebullición, reduciendo un 20 % del volumen inicial (Clesceri, 1998). La muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente consecutivamente se lavaron las paredes del vaso precipitado y el vidrio reloj con agua destilada para evitar la contaminación de la muestra, finalmente se filtró con un papel de poro de $0,45\text{ }\mu\text{m}$ sobre un balón aforado removiendo los sólidos suspendidos y aforando a un volumen de 50 ml según lo estandarizado por (Clesceri, 1998).

7.6 Método de extracción por digestión ácida de Cd, Mn, Ni en peces

El análisis de las muestras se hizo en las instalaciones del laboratorio de control de calidad y en laboratorio de agua, aire y suelo (GIAAS), en el campus principal de la Universidad de Pamplona, donde se pesaron 3 g de cada una de las muestras de tejido de hígado, branquias y riñón (Fig.4), los cuales fueron colocados en un crisol de porcelana previamente lavada con agua destilada, seguidamente las muestras se llevaron a una plancha de calentamiento a 135 °C durante dos horas con el fin de retirar la humedad, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 10 min, luego se llevó la muestra a una mufla y lentamente se aumentó gradualmente la temperatura hasta 600 °C, durante 5 horas aproximadamente, hasta obtener cenizas. Subsiguientemente, se retiraron las muestras y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, seguidamente se les adiciono 2 ml HNO₃ y se agitó suavemente, se transfirió al horno entre 450 °C y 500 °C, durante una hora, posteriormente se adicionaron 10 ml de HCL al 1N, disolviendo las cenizas, calentándolas con cuidado sobre una placa, seguidamente se aforó en un balón volumétrico de 25 ml, finalmente las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro de Absorción Atómica según (Perkin, 1996).



Figura 4. Proceso de disección y extracción de las muestras de hígado, branquia y riñón en peces para la digestión ácida de Cd, Mn, Ni.

7.7 Diseño estadístico

Para el análisis estadístico se utilizaron los programas informáticos: STATISTIX, versión 10 y Excel 2017, se realizó una ANOVA y un análisis de comparaciones múltiples, en este caso se aplicó la prueba de Tukey, con el fin de establecer las medias globales entre las épocas (Invierno y Verano) y las concentraciones en cada uno de los metales pesados en tejido (hígado, branquias y riñón) para *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*; en Excel se graficaron las concentraciones halladas en agua y los resultados de la encuesta que se realizó a los pescadores de la zona de estudio.

8 RESULTADOS

8.1 DIAGNÓSTICO CONSUMO Y COMERCIALIZACIÓN

Los resultados de la encuesta realizada a los pescadores de la zona de estudio, arrojaron como resultados que del 100% de las personas encuestadas, dicen consumir y comercializar bocachico, el cual aporta más del 65 % de la pesca, seguidamente el rampuche por un 22%, y en menor proporción manamana con tan solo 9% y como última opción la mariana con 4% (Fig. 5).

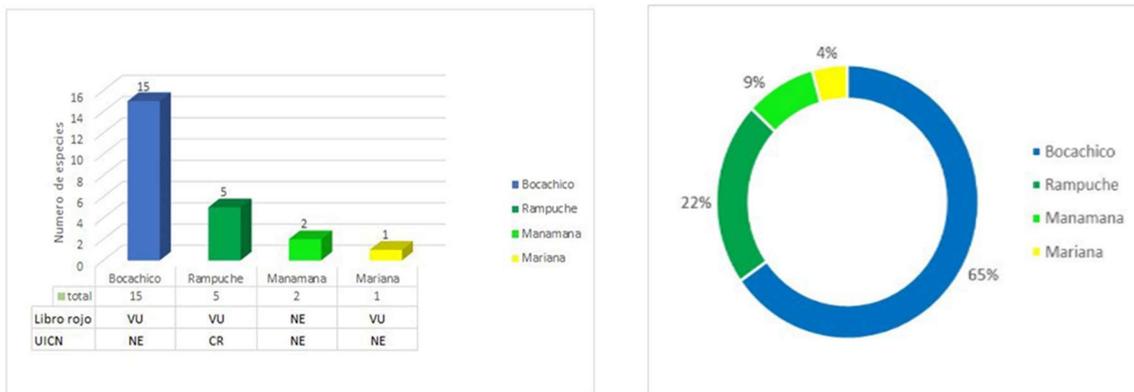


Figura 5. Representación de las especies utilizadas frecuentemente para el consumo diario y comercialización en la zona de Tres Bocas.

8.3 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL AGUA

Las concentraciones de los metales pesados Cd, Ni y Mn, en el agua del río Tres Bocas, en el periodo de invierno arrojaron resultados de 0,0 mg/L, y en época de verano mostraron una concentración 0,0 mg/L para el Cd y el Ni, con un leve aumento del Mn, el cual presentó un resultado de 0,0786 mg/L (Fig. 6), estos resultados se encuentran dentro de las concentraciones límites permisibles de acuerdo a las normas nacionales e internacionales.

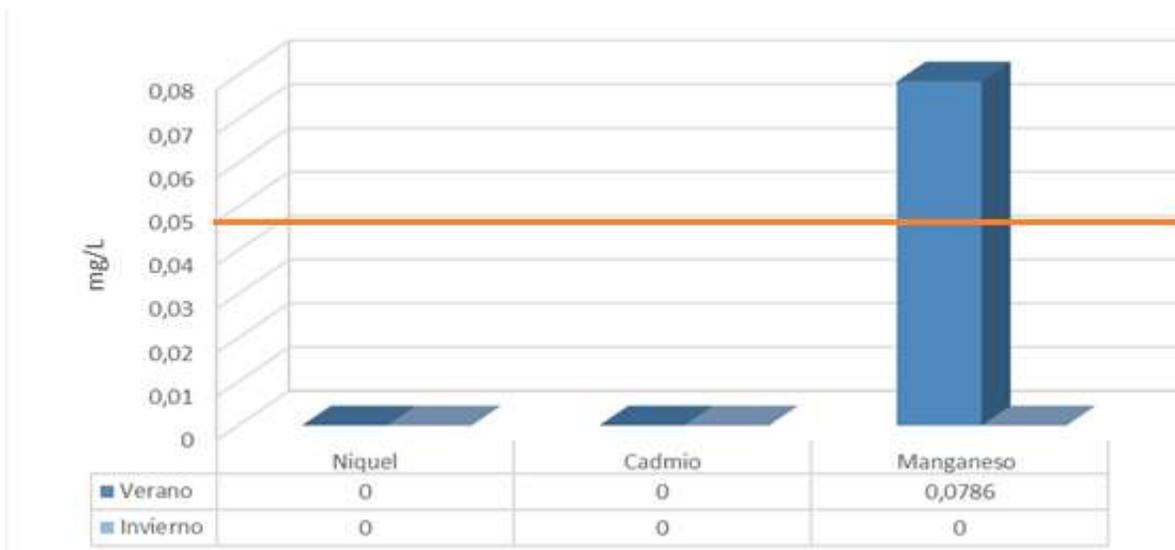


Figura 6. Concentración de metales pesados presentes en el agua.

8.4 METALES PESADOS EN TEJIDOS EN PECES

Las concentraciones de los metales Cd, Ni, Mn, en los tejidos de las especies evaluadas en este estudio *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, se calcularon mediante los resultados obtenidos por Absorción Atómica a partir de muestras de (Hígado, Branquias y Riñón), los niveles de concentración de los metales evaluados en las dos especies se expresaron en mg/Kg, y correlacionadas con la época de invierno y verano (Tabla 1). Los niveles de Cd y Mn se encontraron en altas concentraciones para las dos especies, el Cd presentó rangos altos en invierno para *P. reticulatus* y en el verano no se detectó *P. grosskopfii*, mientras tanto, la concentración de

Mn fue inversa a la del Cd para la época de verano, para el caso del Ni durante la época de invierno y verano no presentó ninguna concentración, para los tres tejidos analizados en las dos especies, (Tabla 1).

| Concentraciones mg/kg | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|----|-----|--------|----|-----|
| | Invierno | | | Verano | | |
| | <i>Prochilodus reticulatus</i> | | | | | |
| | Cd | Ni | Mn | Cd | Ni | Mn |
| <i>Branquias</i> | 0,1 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4,1 |
| <i>Hígado</i> | 6,8 | 0 | 2 | 1,6 | 0 | 6,0 |
| <i>Riñón</i> | 6,4 | 0 | 0,7 | 2,7 | 0 | 3,8 |
| <i>Pimelodus Grosskopfii</i> | | | | | | |
| | Cd | Ni | Mn | Cd | Ni | Mn |
| <i>Branquias</i> | 0 | 0 | 2,2 | 0 | 0 | 4,8 |
| <i>Hígado</i> | 2,1 | 0 | 2,1 | 0 | 0 | 1,4 |
| <i>Riñón</i> | 2,0 | 0 | 2,1 | 0 | 0 | 0,5 |

Tabla. 1 Concentración de los metales Cd, Ni y Mn en los tejidos de *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii*, en época de invierno y verano.

8.5 METALES EN TEJIDOS DE *Prochilodus reticulatus*

Los niveles de metales Cd, Ni y Mn, en los tejidos de *P. reticulatus* en invierno y verano oscilaron entre 0 y 6,8 mg/Kg. La concentración del Cd para la época de verano en el hígado fue de 6,8 mg/kg y para el riñón 6.4 mg/kg, los cuales son respectivamente los valores más altos para este metal. Los niveles de Mn en comparación con el Cd fueron menores y se presentaron para el riñón con 0,7 mg/Kg en invierno, y 4,1 mg/Kg en Branquias en verano, los resultados para el Ni fueron de 0,0 mg/kg para los tres tejidos (Fig. 7).

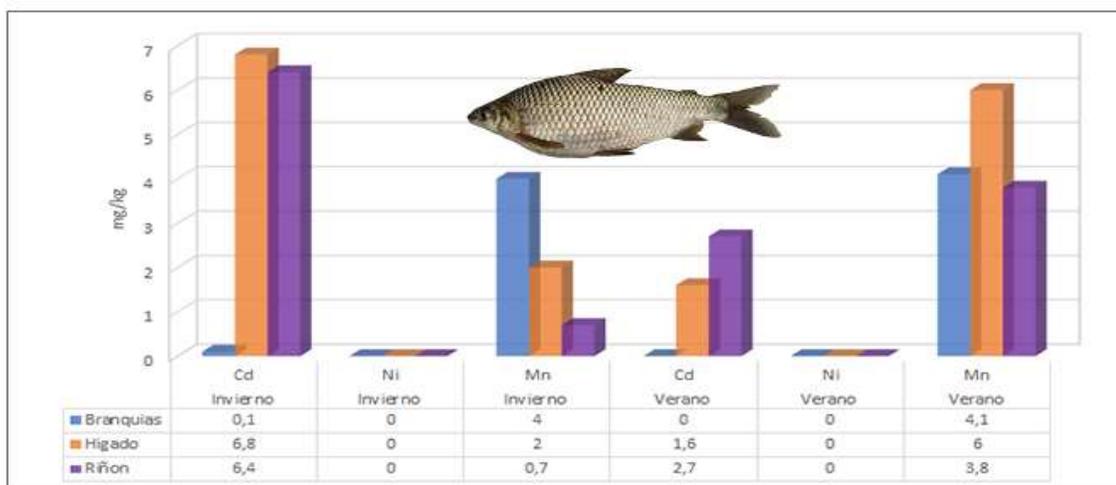


Figura 7. Concentraciones de Cd, Ni y Mn en tejidos de *Prochilodus reticulatus* en invierno y verano, presentando sus mayores concentraciones en el hígado con 6,8 mg/Kg y en riñón 6,4 mg/Kg de Cd.

8.6 METALES EN TEJIDOS DE *Pimelodus grosskopfii*

Los niveles de Cd, Ni y Mn, en los tejidos de rampuche *P. grosskopfii* entre la época de invierno y verano fluctuaron entre 0 y 4,8 mg/kg. No hubo presencia de Cd en las branquias, la concentración de Cd para la época de invierno, para el Hígado fue de 2,1 y Riñón 2,0 mg/kg, en verano no se reportó presencia de Cd para ningún tejido; el Mn en la época de invierno tuvo una concentración de 2,1 y 2,2 mg/kg en todos los tejidos, en verano se obtuvo una concentración de 4,8 mg/kg para las branquias, hígado 1,4 mg/kg y 0,5 mg/kg en riñón, los resultados para el Ni fueron de 0,0 mg/kg para los tres tejidos (Fig. 8).



Figura 8. Concentraciones de Cd, Ni y Mn en tejidos de *Pimelodus grosskopfii* en invierno y verano, presentando sus mayores concentraciones en branquias con 4,8 mg/Kg Mn

9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MULTIVARIADO

9.1 Estadística descriptiva

9.2 **Análisis de los datos:** Los resultados obtenidos se presentan a través de (tablas 2, 3, 4 y 5) y las (figuras 9,10 y 11) que permiten ver el comportamiento de cada una de las variables dependientes (Concentración de Cd, Mn y Ni). De manera complementaria también se observó la variación de algunos metales pesados en las dos épocas climáticas (invierno y verano); se tuvieron en cuenta las dos especies de peces de mayor consumo en el Corregimiento de Tres Bocas *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, donde se tomaron muestras de tejidos (Branquias, Hígado y Riñón), para cada uno de los factores mencionados.

| ARREGLO MATRICIAL PARA EL DISEÑO FACTORIAL | | | | |
|--|-----------|--------------------|--------|---------|
| 2. Especies tratadas | Bocachico | Épocas analizadas | | |
| | | Invierno | | Verano |
| | | Y11 ... | | ... Y1k |
| | | Y21 ... | | ... Y2k |
| | | ... | | |
| | Rampuche | Yn1 ... | | ... Ynk |
| | | Tejidos analizados | | |
| | | Branquias | Hígado | Riñón |

Tabla 2. El modelo para el diseño factorial de efectos fijos está dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_K + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk}: Representa la i-ésima medición de la concentración del cadmio bajo los diferentes factores, época, especie y órgano.

μ: Representa el promedio global de las variables dependientes medidas en las unidades experimentales.

τ_i: Representa la i-ésima medición de la concentración de cadmio bajo la j-ésima época en el k-ésimo órgano analizado

β_j: Representa la j-ésimo medición de la concentración de cadmio bajo la i-ésima época y el k-ésimo órgano analizado.

γ_K: Representa la k-ésimo medición de concentración de cadmio bajo la i-ésima época y el j-ésima especie analizada.

Resultados de ANOVA para Cadmio

| Origen de la variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Estadístico F | P | Gran media | CV |
|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|--------|------------|-------|
| Época | 1 | 14,3008 | 14,3008 | 5,68 | 0,0486 | 1,8083 | 87,72 |
| Especie | 1 | 15,1875 | 15,1875 | 6,04 | 0,0437 | | |
| Tejido | 2 | 19,1267 | 9,5633 | 3,80 | 0,0763 | | |
| Error | 7 | 17,6142 | 2,5163 | | | | |
| Total | 11 | 66,2292 | | | | | |

Tabla 3. Diferencias significativas entre las especies, la época y tejido, con un nivel de significancia del 5% para el Cd.

Relaciones de Comparaciones múltiples para el Cadmio

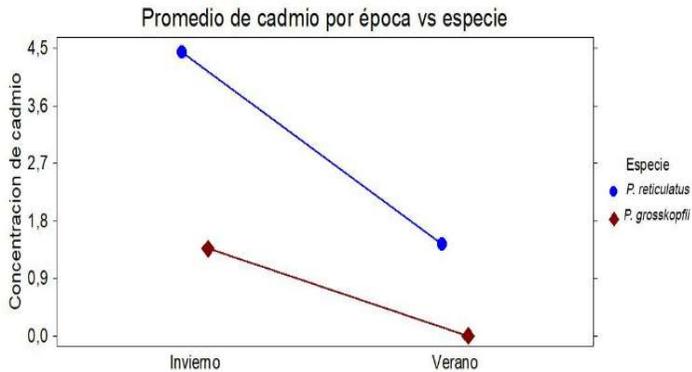


Figura 10. Concentración de Cadmio presentes en *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii* durante la época de

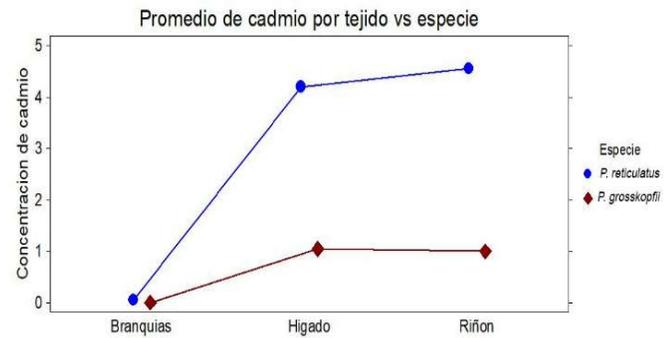


Figura 9. Concentración de Cadmio presentes en *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii* versus tejidos.

En este estudio se optó por afirmar que existe una influencia estadísticamente significativa, sobre la situación antes descrita, que se puede observar en la (Tabla 3 y 5) y (fig.9 y Fig10), para el Cd, el “P valor” para invierno y verano fue $P < 0,0486$, para las especies estudiadas el $P < 0,0437$, y en tejidos $P > 0,0763$, para este caso cuando la probabilidad de error en dicha afirmación sea

inferior al 5% ($P < 5\%$)⁶, esto quiere decir que el intervalo de confianza es del 95%, y la probabilidad de equivocación al rechazar la hipótesis nula es muy baja y en segundo lugar el análisis de comparaciones múltiples (Test HSD de Tukey), (Statistix, 2013), nos ha permitido constatar que existen diferencias significativamente, afirmando que algunas de las medias comparadas son significativamente distintas para la épocas de invierno - verano y entre *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, en este caso las medias de los tejidos (branquias, hígado y riñón) estadísticamente hablando no hay diferencia.

Resultados de ANOVA para Manganeso

| Origen de la variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrado medio | Estadístico F | P | Gran media | CV |
|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|---------------|--------|------------|-------|
| Época | 1 | 4,6875 | 4,68750 | 2,25 | 0,1776 | 2,8083 | 51,44 |
| Especie | 1 | 4,6875 | 4,68750 | 2,25 | 0,1776 | | |
| Tejido | 2 | 8,0267 | 4,01333 | 1,92 | 0,2159 | | |
| Error | 7 | 14,6075 | 2,08679 | | | | |
| Total | 11 | 32,0092 | | | | | |

Tabla 4. Diferencias significativas entre las especies, la época y tejido, con un nivel de significancia fue mayor del 5% para el Mn.

Resultados de Comparaciones múltiples para el Manganeso

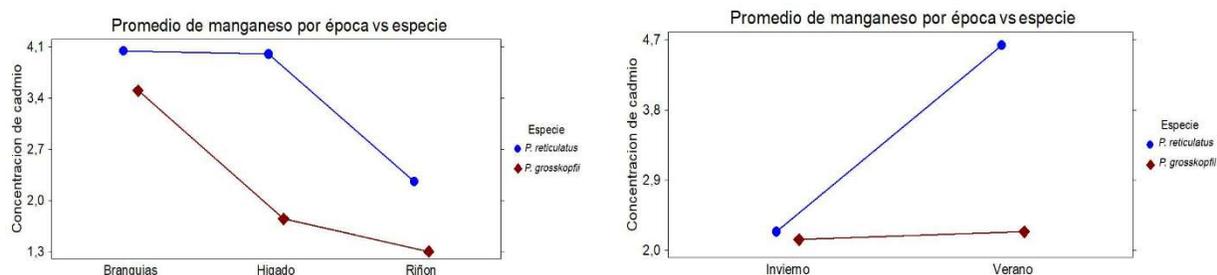


Figura 11. Concentración de Manganeso presentes en *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii* en tejido durante la época de invierno y verano.

En este estudio se optó por aplicar una Anova, que se puede observar en la (Tabla 4 y 5) y (Fig.11), para el Mn, el P valor para invierno y verano fue $P > 0,1776$, para las especies estudiadas el $P > 0,1776$, y en tejidos $P > 0,2159$, según el análisis de comparaciones múltiples (Test HSD de Tukey), (Statistix 10, 2020), nos ha permitido constatar que no existen diferencias significativas, para la épocas de invierno - verano y entre *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, en este caso las medias de los tejidos (branquias, hígado y riñón) estadísticamente hablando no hay diferencia.

| Resumen resultados ANOVA, Nivel de significancia =5% | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------|
| CADMIO | | Media | p- | Interpretación |
| Época | Invierno | 2.90 | 0.0486 | Si hubo diferencias |
| | Verano | 0.72 | | |
| Especie | <i>P. reticulatus</i> | 2.93 | 0.0437 | Si hubo diferencias |
| | <i>P.grosskopfii</i> | 0.68 | | |
| órgano | Riñón | 2.78 | 0.0763 | No hubo diferencias |
| | Hígado | 2.62 | | |
| | Branquias | 0.03 | | |
| MANGANESO | | Media | p- | Interpretación |
| Época | Verano | 3.43 | 0.177 | No hubo diferencias |
| | Invierno | 2.18 | | |
| Especie | <i>P. reticulatus</i> | 3.43 | 0.178 | No hubo diferencias |
| | <i>P. grosskopfii</i> | 2.18 | | |
| órgano | Branquias | 3.77 | 0.2159 | No hubo diferencias |
| | Hígado | 2.87 | | |
| | Riñón | 1.77 | | |
| NIQUEL | | No hubo presencia de este metal | | |

Tabla 5. Resumen estadístico mediante una ANOVA en relación a las especies, tejidos, época y metales pesados Cd, Mn, Ni.

9.3 METALES PESADOS BASADOS EN PROMEDIOS Y COMPARACIÓN CON LA NORMATIVA

A nivel internacional y nacional hay normas que regulan los límites permisibles de metales pesados en agua y alimentos, de los cuales se destacan la Norma Codex alimentaria Stan 108-1981, Organización mundial de la salud (OMS), Norma Oficial Mexicana (NOM). A nivel nacional, en Colombia estas son algunas de las normas que controlan la calidad del agua, fisicoquímicamente, microbiológicamente y algunas enfocadas al consumo de peces: la Resolución 776, la Resolución 2115, Norma Técnica Colombiana 1443, Resolución 122, el Decreto 1594, (Tabla 5). Se relacionan los límites permisibles de metales en tejidos de pescado y agua, los resultados obtenidos en este estudio en cuanto a la calidad del agua relacionada con la presencia de metales pesados, y las normas nacionales Resolución 776, 2125, Resolución 122, Decreto 1595, y las normas internacionales OMS, CODEX, NOM, se puede interpretar que la calidad del agua en la zona de Tres Bocas, se encuentra dentro de los rangos permitidos ya que la presencia de Cd, Ni, Mn, fueron nulos o muy bajos, por lo cual puede ser usada para consumo humano, riego, uso agrícola, conservación de flora y fauna de acuerdo al Decreto 1594 y la resolución 2115. Las concentraciones de metales pesados en *P. reticulatus*, presentaron promedios entre 0,05 y 4,6 mg/Kg de Cd en branquias, hígado y riñón, para el caso del Mn los promedios oscilaron entre 2,2 y 4,05 mg/Kg, para branquias, hígado y riñón, *P. grosskopfii*, presentó promedios entre 1 y 1,05 mg/Kg de Cd en Riñón e Hígado, el Mn presento 1 y 1,3 mg/Kg para branquias y riñón; de acuerdo a la normatividad nacional e internacional para el Cd en *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, está sobre los límites establecidos por la O.M.S, en comparación con la norma NTC 1443 y la Resolución 122, el Cd sobre pasa 9 veces los rangos establecidos, para el Mn en *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* este sobre pasa los límites establecidos por la O.M.S, para el Ni en *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*,

no se encontraron concentraciones, en cuanto a la NTC 1443 y la Resolución 122, no se encuentran rangos establecidos de Mn y Ni, para hígado, branquias y riñón ver (Tabla 1 y 6).

| | | | | Decreto 1594 Colombia | | | | | | Resolución 2115 col | NTC 1443 | Resolución 122 de 2012 | <i>Prochilodus Reticulatus</i> | | | <i>Pimelodus Grosskopfú</i> | | | Agua |
|--------------------------------|-------------|-----------------------|-------------|---|---|----------------------|----------------------|--|----------------------|---|---------------------------------|------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|------|--------|------|
| Metales | O M S | C O D E X | N O M | Criterio de calidad para la destinación del recurso | | | | | | Promedio Global | | | Promedio global | | | - | | | |
| | | | | Recurso Humano y domestico | Preserva ción de la fauna y flora | Para uso agrícola | Para uso pecuario | Para la conservación de la fauna y flora | | B r a n q u i a s | H i g ñ a d o | R i ñ o n | B r a n q u i a s | H i g ñ a d o | R i ñ o n | | | | |
| | | | | | | | | Aguas dulce s | aguas mari nas | | | | | | | | | | |
| Metales Pesados en agua | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | 0,03 | 0,003 | 0,005 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,01 | 0,003 | - | - | | | | | | 0 | |
| Ni | 0,07 | 0,02 | - | - | 0,01 | 0,2 | | 0,01 | 0,01 | 0,02 | - | - | | | | | | 0 | |
| Mn | 0,4 | 0,4 | 0,15 | - | 0,1 | 0,2 | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | - | - | | | | | | 0,0786 | |
| Metales pesados en peces | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cd | 0,05 | - | 0,5 | - | - | -- | - | - | - | -- | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 4,4 | 4,6 | 0 | 1,05 | 1 | - |
| Ni | 0,02 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| Mn | 0,01 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 4,05 | 4 | 2,2 | 1 | 0 | 1,3 | - |

Tabla 6. Niveles permisibles según las normas nacionales e internacionales para los metales pesados analizados.

10 Resultado y discusión

10.1.1 Análisis del cadmio en agua

Villarraga, (2019), en un estudio realizado en el río Tunjuelo, encontró concentraciones bajas de Cd 0,001 mg/L, en otro estudio realizado por (Granada y Escobar, 2012), en el río Cauca obtuvieron concentraciones de 0,0 mg/L de Cd en comparación con el presente estudio, dichos estudios coinciden con los resultados encontrados para el sector de Tres Bocas donde las concentraciones de Cd fueron de 0,00 mg/L en época de invierno y verano. Este fenómeno posiblemente esté relacionado con la época de lluvia, donde el caudal aumenta generando una mayor dilución de los metales allí presentes, no detectables por el equipo, o también a la densidad de los metales que a través del tiempo tienden a precipitarse y terminan en los fondos de los cuerpos de agua formando parte del sedimento.

10.1.2 Análisis del Manganeso en agua

En cuanto al Mn la investigación realizada por Obasohan, et al. (2008), encontró concentraciones mínimas que oscilan entre 0.030 y 0.052 mg/L, en este trabajo el Mn fue de 0,0786 mg/L durante la época de invierno, lo que indica que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecido en las normas nacionales y las internacionales. No obstante, con los resultados encontrados que oscilan en los parámetros de concentración no peligrosa, su presencia, es un precedente importante para generar un control de este elemento.

10.1.3 Análisis del Níquel en agua

(Babativa y Caicedo, 2018), reportó en su estudio una concentración de 0,019 mg/L Ni en agua, levemente por encima de los límites permisibles establecidos por el decreto nacional 1594-Otro estudio realizado por (Granada y Escobar, 2012), obtuvieron concentraciones de 0,0 mg/L de Ni,

lo cual coincide con el presente estudio, en el cual se encontró concentraciones de 0,00mg/L de Ni, en contraste en este estudio realizado en el punto de Tres Bocas se encontró concentraciones de 0,00 mg/L de Ni, en época de invierno y verano

10.1.4 Análisis del Cadmio en tejidos de *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii*

Las concentraciones en época de invierno de *P. reticulatus* oscilaron entre 0,1 mg/kg, 6,8 mg/kg y 6,4 mg/kg de Cd, para las branquias, hígado y riñón, en época de verano oscilaron entre 0,0 mg/kg, 1,6 mg/kg y 2,7 mg/k de Cd, para las branquias, hígado y riñón, las mayores concentraciones se encontraron en el hígado en época de invierno y riñón en época seca, para *P. grosskopfii*, en la época de invierno oscilaron entre 0,0 mg/k, 2,1 mg/k y 2,0 mg/k de Cd, para las branquias, hígado y riñón, las mayores concentraciones se encontraron en hígado y riñón en época de invierno, en las branquias no hubo presencia de Cd, posiblemente esté relacionado a valores por debajo del límite de detección del equipo, para las dos épocas, en época de verano no se encontraron concentraciones para ninguno de los tejidos. Al analizar las concentraciones se puede notar que sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos en la norma de la (OMS, 2007), cuyo rango establecido para consumo de pescado es de 0,050 mg/kg de Cd. En este estudio se encontraron concentraciones que superaron hasta 130 veces el límite máximo permisible. En relación a este resultado, que es una concentración muy alta de Cd en los tejidos, es fundamental decir que las concentraciones renales de zinc son directamente proporcionales al aumentar las concentraciones de Cd y que la capacidad de almacenamiento está limitada a 300 mg/g (Oleru, 1976). Así que metales pesados como Cd, Pb, Cr entre otros, se acumulan en los tejidos del cuerpo y generan daños en la salud (Ramírez, 2002). En este caso relacionamos la presencia de Cd a procesos de bioacumulación en riñones e hígado, los cuales puede variar de acuerdo a la concentración, el tiempo de exposición y del estado óptimo de la función renal

(Ramírez, 2002). El Cd como los demás metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los tejidos de los peces; esta bioacumulación implica un aumento en la concentración de los metales pesados en el organismo en un cierto periodo de tiempo, donde el organismo acumula una concentración alta, en comparación con el ambiente que le rodea, así se almacenan en el organismo donde puede ser tóxico para el mismo y para los consumidores, como lo encontrado por (Argota et al., 2012), quien determinó la presencia de Cd en branquias en concentraciones que oscilaron entre 0,0073 y 0,0097 mg/kg y que a su vez concluye que las branquias son órganos que permiten el intercambio de sustancias esenciales como el Cu y Zn que son importantes para el buen funcionamiento del organismo de *G. punctata*, asimismo, permitiendo el ingreso de metales pesados como el Cd, aunque no determinó que funciones biológicas cumplen, este metal puede ser retenido en las branquias, donde se convierte en blanco inicial de toxicidad por exposiciones al metal pesado, lo cual da respuesta al porqué de las altas concentraciones de Cd encontrados en las branquias de *P. reticulatus* y *P. grosskopfiilos* cuales fueron mayores a los reportados por (Argota et al., 2012).

Los valores de Cd en la zona donde se realizó el estudio se asocian por el tipo de combustible (ACPM) utilizado en el sector comprendido por las industrias que comprenden el 50% de las emisiones diarias de Cd y que se acentúan en mayor medida en el sector de La Merced (Paez & Pedraza, 2016).

Generalmente por ser una zona industrial también constituida por empresas como Palmas Catatumbo S.A, empresa Oleoflores S.A, Palnorte S.A.S, NORPALMA S.A, lo cual se relaciona en la industria dado que el Cadmio se encuentra combinado con otras sustancias tales como oxígeno, el Cd unido a otros elementos químicos es utilizado a nivel industrial y que un 66% proviene de emisiones de derivados de petróleo según lo reportado por (Paez & Pedraza, (2016)

no se disuelve en su totalidad en el agua, por lo tanto, no es de fácil su oxidación y es persistente en el ambiente, ya que puede cambiar de forma viajando a largas distancias en el aire, antes de depositarse en el agua o el suelo (Lenntech, 2016).

10.1.5 Análisis del manganeso en tejidos de *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*

Las concentraciones en época de invierno para *P. reticulatus* oscilaron entre 4 mg/kg, 2 mg/kg y 0,7 mg/kg de Mn, en el caso de *P. grosskopfii* sus valores fueron muy constantes con un rango entre 2,2 mg/kg y 2,1 mg/kg de Mn, para las branquias, hígado y riñón, en época de verano en *P. reticulatus* oscilaron entre 4,1 mg/kg, 6,0 mg/kg y 3,8 mg/kg de Mn, en *P. grosskopfii* presentaron un rango entre 4,8 mg/kg, 1,4 mg/kg y 0,5 mg/kg de Mn, para las branquias, hígado y riñón.

Las mayores concentraciones se encontraron en branquias con 4 mg/kg en época de invierno, para la época de verano en hígado con 6,0 mg/kg para *P. reticulatus* y el valor más bajo se presentó en verano con 0,5 mg/kg de Mn, para *P. grosskopfii*.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede analizar que sobrepasan los valores establecidos de acuerdo a la norma internacional de la OMS, que establece un valor máximo permisible de 0.01 ppm, por lo cual las concentraciones halladas en las muestras están por encima de lo estipulado por la norma. Lo cual coincide a lo reportado por Márquez, et al. (2008), quienes encontraron niveles altos de Mn en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela donde los valores de Mn se encontraron entre 2,93 µg/g y 0,56 µg/g. En relación a la presencia de Mn en tejidos, el estudio realizado por (Salazar et al., 2014) hallaron concentraciones de Mn en muestra de tejido de branquias 0,96 µg/gph, hígado 3,02 µg/gph y riñón 1,10 µg/gph en la especie *Pterygoplichthys multiradiatus*, dichos valores sobrepasan los límites establecidos por la normatividad ambiental internacional, lo cual coincide

por lo reportado en el actual estudio, desafortunadamente el estudio realizado por (Salazar et al., 2014), no tuvo en cuenta las épocas de invierno y verano..

Para el caso de *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, en la zona de Tres Bocas, se obtuvieron altas concentraciones de Mn en las dos épocas del año, pero con un mayor aumento en la época de verano, para los tejidos de branquias e hígado para *P. reticulatus*, en cuanto a *P. grosskopfii* presento altas concentraciones en branquias en la época de verano mientras en hígado y riñón presentaron altas concentraciones en invierno, en relación con el análisis de agua los datos presentaron bajas concentraciones en Mn y no presento concentraciones de Cd , Ni.

Para Otero, et al. (1986), una de las causas de acumulación de metales pesados en este caso para *P. reticulatus* y *P. grosskopfii*, está relacionado con los lugares donde viven, principalmente en el fondo de las ciénagas, en ríos con corriente, y a veces en el fondo del sustrato, *P. reticulatus* se caracteriza por una dieta detritívora y de perifitón, en comparación con *P. grosskopfii*, quien presenta una dieta carnívora e insectívora, estas dietas constituyen su principal vía de captación y bioacumulación de metales pesados, entre ellos el Mn, Cd y Ni; pero también los metales pesados pueden ingresar al organismo de *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* por el contacto directo de la piel, con los metales tóxicos, los cuales estén disponibles en el medio acuático, no obstante, cada organismo vivo tiene su propia dinámica de bioacumulación y magnificación a través de la cadena trófica (Marcovecchio et al., 1991).

El Mn tiene un rol bioquímico que sirve como cofactor de una serie de enzimas, incluyendo las enzimas de la clase hidrolasas, quinasas, decarboxilasas y transferasas. Además, es un activador de tres metaloenzimas, como la arginasa, la piruvato carboxilasa y la superóxido dismutasa mitocondrial (U.S. EPA, IRIS, 1997). El Mn es esencial como parte del funcionamiento de la catálisis enzimática que ocurre en los organismos y su toxicidad se debe al exceso de consumo por

parte del organismo o a su presencia en el ecosistema acuático, lo que se asocia con contaminación y enfermedades que se expresan a través del tiempo (U.S. EPA, IRIS, 1997).

10.1.6 Análisis del Níquel en *Prochilodus reticulatus* y *Pimelodus grosskopfii*

La concentración de Ni en los tejidos analizados fueron de 0,0 mg/kg, esto indica que no se encontró níquel en los tejidos analizados de *P. reticulatus* y *P. grosskopfii* y este resultado no puede ser detectado por el equipo de espectrofotometría de absorción atómica. El equipo tiene un mínimo de concentración de níquel que puede ser detectada. Sin embargo, un estudio llevado a cabo en la cuenca de Catatumbo desarrollado por (Hermoso y Marquez, 2005), halló concentraciones de Ni de 0,25 ppm a 170,8 ppm en el tejido muscular de los peces del río Catatumbo y sus afluentes, que excedieron el límite máximo permisible para este metal;

en contraste con los resultados de este estudio arrojaron concentración de 0,0mg/kg en los tres tejidos analizados, se recalca que esto trabajaron con varias especies de peces, sumando a esto recolecto especies de la cuenca del Rio Catatumbo y sus tributarios, lo que implica un aumento de la contaminación del río por parte de las actividades antropogénicas realizadas tanto en la zona colombiana de la cuenca, como en la venezolana (Hermoso y Marquez, 2005).

(Javed y Usmani, 2013), reportaron concentraciones de Ni en la especie *Mastacembelus armatus* arrojó concentraciones de Ni en los tejidos de branquias, que fue de 200.00 mgkg-1.dw, en el hígado de 449.96 mgkg-1.dw y en el riñón de 149.33 mgkg-1.dw; el órgano que tuvo mayor concentración fue el hígado (Javed y Usmani, 2013).

La presencia de Ni en los ecosistemas acuáticos es proveniente de meteorización de piedras, suelos contaminados y de origen industrial que aportan altos niveles de Ni a los ecosistemas acuáticos (Nriagu y Pacyna, 1988). La movilidad y biodisponibilidad del Ni cuando está en medio húmedo se ve afectada por factores climáticos, como el pH, el potencial de oxidación-reducción, la presencia

de materia orgánica y de material particulado inorgánico (Callahan et al., 1979). La toxicidad del níquel sobre los organismos acuáticos está influenciada por la presencia de iones inorgánicos, la dureza del agua, la temperatura y el pH. (Babich y Stotzky, 1983).

11 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la encuesta realizada a los pescadores de la zona de Tres Bocas, demuestra que, de las especies reportadas, *P. reticulatus* (bocachico) y *P. grosskopfii* (rampuche), son las más apetecidas para el comercio y consumo, con un 87%, lo cual permitió escoger ambas especies, como eje central para esta investigación.

El análisis de espectrofometría de absorción atómica, no detecto concentraciones de Cd y Ni en el agua, cuyos valores fueron de 0,0 mg/L, mientras que el Mn presento concentración de 0,0786 mg/L, en la zona de Tres Bocas, por lo tanto estas concentraciones en el agua no representan un riesgo para la salud humana, de acuerdo a las normas ambientales nacionales e internacionales se encuentran dentro de los límites establecidos por el decreto 2115 de 2007, OMS, CODEX, NOM y el Decreto 1594, esto indica que el agua es apta para consumo humano y para diferentes usos.

La cuantificación de metales pesado en las muestras de tejidos de branquias, hígado y riñón en *P. grosskopfii* y *P. reticulatus* revela que las concentraciones de Cd, según el p valor, demuestran que existen diferencias significativas por época y especies, en cuanto al Mn no existieron diferencias significativas, lo cual demuestra que ambas especies tienen estrategias diferentes de bioacumulación y biomagnificación, las cuales se relacionan no tanto al agua, sino al tiempo de exposición y a la concentración, al hábito alimenticio y a la época reproductiva; de acuerdo con las normas nacionales e internacionales se establece que *P. grosskopfii* y *P. reticulatus*, no son aptas para el consumo humano según la OMS, NOM, la resolución 122 del 2012, Norma Técnica Colombiana NTC 1443. Se plantea la urgencia de generar estrategias de conservación, como el desarrollo de un plan enfocado al manejo y consumo sostenible de *P. grosskopfii* y *P. reticulatus* en la cuenca del Catatumbo, a través de proyectos de piscicultura, como negocios sostenibles, que impliquen el uso de especies nativas para el repoblamiento, convirtiendo al pescador y a la

comunidad en entes productivos que contribuyan a la conservación de estas especies endémicas de Colombia y a la preservación del río Catatumbo

12 RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta los resultados en este estudio de las concentraciones de Cd, Ni, y Mn, es pertinente realizar estudios relacionados con la biota presente del Río Catatumbo y sus diferentes tributarios, porque son muy pocos los estudios relacionados con la contaminación por metales pesados en las especies icticas de la zona.

Realizar investigaciones de metales pesados en peces y su relación que existe en toda la cadena trófica, es decir, la biomagnificación que ocurre por el consumo de especies de peces contaminadas por metales pesados.

Efectuar estudios epidemiológicos a la población que se sustenta de estos peces ya que a partir del informe de morbilidad del hospital de salud del municipio de Tibú, las enfermedades que se presentaron durante los últimos 4 años son la hipertensión,, cefalea, bronquitis y varios tipos de cáncer como: estómago, hepático, piel, pulmón y colon (Anexo 1 y 2); estos casos podrían estar relacionados con el consumo de peces que contienen altas concentraciones de metales pesados, provocando deterioros en la salud de los pobladores que tienen como dieta principal el consumo de peces. Según Esmeralda y María Isabel 2012) el cadmio puede provocar daños en los riñones, huesos y pulmones y sus efectos en el organismo varían según del tiempo de exposición. Por otra

parte, el Ni cuando se consume en altas concentraciones produce daños en la salud en periodos de tiempo cortos como irritación y neomenia.

Incentivar a la comunidad sobre el cuidado del agua del rio y generar controles rigurosos para las empresas que de alguna u otra forma generan un impacto negativo en este ecosistema acuático, permitiendo la mitigación del daño ocasionado.

Que la normatividad colombiana abra un párrafo incluyendo nuevos metales pesados bajo unos rangos máximo y mínimo en dichas concentraciones permisibles en alimentos y agua para el consumo humano, en razón de que solo se tiene unos pocos metales incluidos en las normas, esto anterior por que han aumentado el uso de metales pesados en diferentes actividades que puede contaminar un sin número de organismo que puede ser consumible.

Este proyecto de investigación se puede tomar como base para seguir realizando investigación en la biota que se encuentra en la zona de tres bocas para así determinar el grado de contaminación por metales pesados que puedan tener las demás especies que habita esta zona y por ende la relación de los mismo con los humanos.

Promover con los diferentes entes gubernamentales que se generen catedra ambientales en las instituciones que se encuentre en la región y así incentivar a la población al cuidado del medio ambiente y el de las especies nativas y propias de la región.

13 BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada Bermúdez, R., Ahumada-Rudolph, R., & González Sepulveda, E. (2015). Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en organismos bentónicos de áreas prístinas: Campos de hielo sur (48°- 52° lat. Sur), Chile. *Gayana*, 79(2), 128–136. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382015000200002>
- Alahabadi, A., & Malvandi, H. (2018). Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 133(October 2017), 741–749. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.030>
- Anadon, A., Muñoz, M. J., & Ortiz, J. A. (1984). Acumulación tisular de zinc, plomo, cobre, hierro y cromo en truchas de río, *Salmo trutta fario*. Acción ecotoxicológica. *An. INIA/Ser. Ganadera*, 19, 173–180.
- Angarita Castilla, W. (2015). *Evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del agua del río catatumbo por contaminación de hidrocarburos sector corregimiento el aserrio municipio de teorama* [Universidad Francisco De Paula Santander]. <http://die.ufpso.edu.co/images/proyectos/TR9Yz5.pdf>
- APHA, AWWA, & WPCF. (2017). *Metodos Normalizado para el Análisis de Aguas Potables y Residuales* (D. de Santos & S. A. (eds.)).
- Argota Pérez, G., Argota Coello, H., Rodríguez Amado, J., & Fernández Hernandez, A. (2012). Determinación de Cu, Zn, Pb y Cd por espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado en órganos de la especie *Gambusia punctata* (Poeciliidae). *Revista Cubana de Química*, XXV(0258–5995), 92–99.
- Arrieta, A., Corredor, W., & Vera, J. (2015). Assessment Of Heavy Metals And Cuantificación In Pork, Fish, Chicken And Res Market In Pamplona Norte De Santander. *Ciencia y Tecnología Alimentarias*, 13(2), 163–171.
- Babativa Pulido, I. A., & Caicedo Molina, J. C. (2018). *Evaluación de la presencia y distribución de los metales pesados Cromo, Niquel y Plomo en el río Ocoa, en la zona comprendida entre la desembocadura del Caño Maizaro hasta el puente Murujuy, Municipio de Villavicencio - Meta*. Universidad Santo Tomás.
- Babich, H., & Stotzky, G. (1983). Toxicity of Nickel to Microbes: Environmental Aspects. In *Advances in Applied Microbiology* (Vol. 29, Issue C). [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(08\)70358-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(08)70358-7)
- Baron Lastra, M., & Rodríguez Toloza, P. (1992). *Biodiversidad Ictica De La Región Del Catatumbo Colombia*. Universidad de Pamplona.
- Barros-Barrios, O., Doria-Argumedo, C., & Marrugo-Negrete, J. (2016). Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*, 10(2). <https://doi.org/10.17151/vetzo.2016.10.2.3>
- Böhlke, J., Weitzman, S., & Menezes, N. (1978). Estado atual da sistemática dos peixes de água doce da América do Sul. *Acta Amazonica*, 8(4), 657–677. <https://doi.org/10.1590/1809-43921978084657>
- Calabuig, G. (2005). *Medicina Legal y Toxicología. Sexta Edic.*
- Callahan, M. A., Slimak, M. W., Gabel, N. w., May., tra P., Charles F. Fowler, J., Freed, J. R., Jennings, P., Durfee, R. L., Whitmore, F. c., Maestri, B., Mabey, W. ll., Holt, B. R., & Gould, E. I. (1979). *Water Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants. I*, 43-1-43–10.

- Cañizares, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3), 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.02.024>
- Cheung, K. C., Leung, H. M., & Wong, M. H. (2008). Metal concentrations of common freshwater and marine fish from the Pearl River Delta, South China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54(4), 705–715. <https://doi.org/10.1007/s00244-007-9064-7>
- Chiang, A. (1989). *Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile, Memorias del Simp. Int. sobre los Recur. vivos, Santiago, 1, 205–215.*
- Chopin, E. I. B., Black, S., Hodson, M. E., Coleman, M. L., & Alloway, B. J. (2003). A preliminary investigation into mining and smelting impacts on trace element concentrations in the soils and vegetation around Tharsis, SW Spain. *Mineralogical Magazine*, 67(02), 279–288. <https://doi.org/10.1180/0026461036720099>
- Clesceri, L.S. (1998). *Standard methods. Examination of water and wastewater* (20th ed.).
- Corponor. (2016). *Plan Estrategico Ambiental Regional.*
- De Pina, M. c. . (1993). *Higher-level phylogeny of siluriformes (Teleostei, Ostariophysii), with a new classification of the order.* University of New Yorkm, New York.
- Diario del Huila. (2019, February 15). Río Catatumbo en emergencia ambiental. *Redacción Diario Del Huila*. <https://diariodelhuila.com/rio-catatumbo-en-emergencia-ambiental>
- Dobaradaran, S., Naddafi, K., Nazmara, S., & Ghaedi, H. (2010). Heavy metals (Cd, Cu, Ni and Pb) content in two fish species of Persian Gulf in Bushehr Port, Iran. *African Journal of Biotechnology*, 9(37), 6191–6193.
- Eens, M., Pinxten, R., Verheyen, R. F., Blust, R., & Bervoets, L. (1999). Great and blue tits as indicators of heavy metal contamination in terrestrial ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 44(1), 81–85. <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1828>
- FAO y OMS. (2007). LA COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS La. In *Manual de capilaroscopia: Vol. Primero*. <https://doi.org/10.1109/ECONF.2013.38>
- Ferré Huguet, N., Schuhmacher Ansuategui, M., Llobet, J. M., & Domingo, J. L. (2007). Metales pesados y salud: diseño de un software para evaluar los riesgos de la exposición ambiental a través del agua, suelos y aire. *Mapfre Seguridad, ISSN 0212-1050, Año N° 27, N° 108, 2007, Págs. 50-58, 27(108), 50–58.* <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2508799>
- Gallardo, S. (2005). Los peces y los efectos de las sustancias tóxicas. *Cable Semanal.*
- Galvis, G., Mojica, J. I., & Camargo, M. (1997). *Peces del Catatumbo* (1st ed.).
- Gómez, M., & Sotés, V. (2014). *El manganeso y la viticultura: una revisión.* 84. http://www.mapama.gob.es/es/alimentacion/publicaciones/MANGANESO_Y_VITICULTURA_tcm7-344123.pdf
- Granada Grisales, N., & Escobar López, D. F. (2012). Analisis y cuantificación de metales pesados (Pb, Cd, Ni, y Hg) en agua, sedimento y bioacumulacion en especie *Rhandia wagne* (Barbudo) del rio Cauca en el municipio de la Virginia [Universidad Tecnológica de Pereira]. In *Resources*. <https://doi.org/10.1007/s11837-012-0378-1>
- Hermoso Marquez, D., & Marquez Urdaneta, M. G. (2005). *Evaluacion de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces del rio Catatumbo y sus afluentes.* Escuela de Ingeniería Química.
- Hopkins, W. A., Tatara, C. P., Brant, H. A., & Jagoe, C. H. (2003). Relationships between mercury body concentrations, standard metabolic rate, and body mass in eastern mosquitofish (*Gambusia holbrooki*) from three experimental populations. *Environmental Toxicology and*

- Chemistry*, 22(3), 586–590. [https://doi.org/10.1897/1551-5028\(2003\)022<0586:RBMBCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1897/1551-5028(2003)022<0586:RBMBCS>2.0.CO;2)
- Jaramillo, A. M. (2009). *Estudio de la biología trófica de cinco especies de peces bentónicos de la costa de cullera. Relaciones con la acumulación de metales pesados*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8320/tesisUPV3072.pdf>
- Javed, M., & Usmani, N. (2013). Assessment of heavy metal (Cu, Ni, Fe, Co, Mn, Cr, Zn) pollution in effluent dominated rivulet water and their effect on glycogen metabolism and histology of *Mastacembelus armatus*. *SpringerPlus*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-390>
- La Opinión. (2019, February 13). Emergencia ambiental en el río Catatumbo. *La Opinión*. <https://www.laopinion.com.co/region/emergencia-ambiental-en-el-rio-catatumbo-171330#OP>
- Labat, R., & Pequignot, J. (1974). “Toxic action of copper on the gills of carp (*Cyprinus carpio*)”. *Ann Limno*.
- Lenntech, B. (2016). *Water treatment solutions. Tabla periódica. Elementos*. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm> 8/09/2020
- Lombardi, P. E., Peri, S. I., & Verrengia Guerrero, N. R. (2010). Trace metal levels in *Prochilodus lineatus* collected from the la Plata River, Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1–4), 47–59. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0656-0>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Lozada Zárate, J. E. (2007). *Determinación de la concentración de metales en Cyprinus carpio, Linnaeus 1758 (carpa común) de la Laguna de Metztlán, Hidalgo, México*. 76.
- Lozano Rivas, W. A. (2013). *Calidad Físicoquímica del Agua.: Métodos Simplificado para su Muestreo y Analisis*.
- Lundberg J.G. (1998). *The temporal context for diversification of neotropical fishes*. 49 – 68.
- Maceda Veiga, A., Monroy, M., & de Sostoa, A. (2012). Metal bioaccumulation in the Mediterranean barbel (*Barbus meridionalis*) in a Mediterranean River receiving effluents from urban and industrial wastewater treatment plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 76(1), 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.09.013>
- Maramba, N. P. C., Reyes, J. P., Francisco-Rivera, A. T., Panganiban, L. C. R., Dioquino, C., Dando, N., Timbang, R., Akagi, H., Castillo, M. T., Quitariano, C., Afuang, M., Matsuyama, A., Eguchi, T., & Fuchigami, Y. (2006). Environmental and human exposure assessment monitoring of communities near an abandoned mercury mine in the Philippines: A toxic legacy. *Journal of Environmental Management*, 81(2), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.02.013>
- Marcovecchio, J. E., Moreno, V. J., & Pérez, A. (1991). Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca estuary, Argentina. *Marine Environmental Research*, 31, 263–274. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(91\)90016-2](https://doi.org/10.1016/0141-1136(91)90016-2)
- Márquez, A., Senior, W., Fermín, I., Martínez, G., Castañeda, J., & González, Á. (2008). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Researchgate*, 18(1), 73–86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.160421>
- Marrugo-Negrete, J., Verbel, J. O., Ceballos, E. L., & Benitez, L. N. (2005). Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana region of Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*, 30(1), 21–30. <https://doi.org/10.1007/s10653-007-9104-2>

- Marrugo, J., Lans, E., & Benítez, L. (2007). Hallazgo de mercurio en peces de la Ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 12(July 2007), 878–886. <https://doi.org/10.21897/rmvz.432>
- Mclean, J. E., & Bledsoe, B. E. (1992). Ground Water Issue Behavior of Metals in Soils. *Epa*, 1–25. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa030660>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020, September 10). *Demanda de agua*. <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/administracion-del-recurso-hidrico/demanda>
- Mojica, I. J., Usman Oviedo, J. S., Alvares León, R., & Lasso, C. A. (2012). *Libro Rojo de peces dulceacuicolas de Colombia 2012. Libro rojo de peces dulceacuicolas de Colombia 2012. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, W.*
- Morales Aguillar, M. B. (2019). *Determinacion de la concentracion de metales pesados (Mercurio, Plomo Y Cadmio) en filete de pescado importado a Guatemala de la especie Pangasius hypophthalmus (Panga) Proveniente de Vietnam en el año 2018.*
- Mosquera, N. (2013). *FUNCIONALIZACIÓN DE SUPERFICIES NANOESTRUCTURADAS PARA ASISTIR PROCESOS DE DETECCIÓN DE CONTAMINANTES EN AGUA POR PLASMÓN SUPERFICIAL.*
- Nriagu, J. O., & Pacyna, J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature*, 333(6169), 134–139. <https://doi.org/10.1038/333134a0>
- Obasohan, E. E., Oronsaye, J. A. O., & Eguavoen, O. I. (2008). A Comparative Assessment of the Heavy Metal Loads in the Tissues of a Common Catfish (*Clarias Gariepinus*) From Ikpoba and Ogba Rivers in Benin City, Ngeria. *African Scientist*, 9.
- Ogundiran, M. B., & Osibanjo, O. (2015). Chemical Speciation & Bioavailability Mobility and speciation of heavy metals in soils impacted by hazardous waste Mobility and speciation of heavy metals in soils impacted by hazardous waste. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 21(2), 59–69. <https://doi.org/10.3184/095422909X449481>
- Oleru, U. G. (1976). Kidney, liver, hair and lungs as indicators of cadmium absorption. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 37(11), 617–621. <https://doi.org/10.1080/0002889768507533>
- Olivero-Verbel, J., Johnson-Restrepo, B., Mendoza-Marín, C., Paz-Martinez, R., & Olivero-Verbel, R. (2004). Mercury in the aquatic environment of the village of Caimito at the Mojana Region, North of Colombia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 159(1), 409–420. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049162.54404.76>
- OMS. (2006). Organización Mundial de la Salud. *Agua, Saneamiento y Salud: Enfermedades Relacionas Con El Agua*. https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/
- Ortega-lara, A., Lasso-alcalá, O. M., Lasso, C. A., De Pasquier, G. A., & Bogota Gregory, J. D. (2012). *Peces de la cuenca del río Catatumbo, cuenca del Lago de Maracaibo, Colombia y Venezuela* (Vol. 13).
- Otero, R., González, A., Solano, J., & Zappa, F. (1986). *Migración de peces del Río Sinú. CINPIC-Universidad de Córdoba. Informe presentado a Corelca. Montería, Colombia.*
- Paez Maldonado, A. C., & Pedraza Sánchez, D. M. (2016). *Identificación y análisis comparativo de metales pesados en partículas respirables y estimación del riesgo para la salud humana, en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.*

- <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Peña Salamanca, E. J., Palacios Peñaranda, M. ., & Ospina Álvarez, N. (2005). *Algas como indicadores de contaminación, primera edición, Universidad del Valle, Diciembre de 2005.*
- Perkin Elmer. (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*, 216.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramirez, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89–105. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>
- Quintero Redondo, L. A., Agudelo, E. A., Quintana Hernandez, Y. A., Cardona Gallo, S. A., & Osorios Arias, A. F. (2010). Para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos. *Gestión y Ambiente*, 3, 51–64. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Determinaci?n+de+indicadores+para+la+calidad+de+agua+,+sedimentos+y+suelos+,+marinos+y+costeros+en+puertos+colombianos+Definition+of+indicators+for+marine+and+coastal+water+,+sediments+and+soil>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 63(1), 51–64. <https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *The Indian Journal of Pediatrics*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Rodríguez Heredia, D. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. 21(12), 3372–3385. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012
- Rueda, A. L. P., Gómez, M. S., Quiñonez, L. E. P., Pérez, M. G. C., Acevedo, C. A. B., & Acevedo, J. A. A. (2015). *Peces del Pamplonita Cuenca del río Catatumbo, Norte de Santander, Colombia.*
- Ruiz, J., Fandiño, C., Romero, G., & Guevara, M. (1996). Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. *Licania Arborea*, 1, 18–22.
- Salazar-Lugo, R., Vargas, A., Moreno, C., Centeno, L., Astudillo, H., Lemus, M., & Rojas de Astudillo, L. (2014). Blood parameters and heavy metals in tissue of the fish *Pterygoplycthyx multiradiatus* from the Orinoco River, Venezuela. *Revista Científica*, 24(3), 261–266.
- Şaşı, H., Yozukmaz, A., & Yabanli, M. (2018). Heavy metal contamination in the muscle of Aegean chub (*Squalius fellowesii*) and potential risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6928–6936. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1030-y>
- Shrestha, N. K., Du, X., & Wang, J. (2017). Assessing climate change impacts on fresh water resources of the Athabasca River Basin, Canada. *Science of the Total Environment*, 601–602, 425–440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.013>
- Starks, E. C. (1926). Factors of fish classification. *Amer. Nat.* Starks, E. C., “*Factors of Fish Classification. Amer. Nat.*”, 1926, 82–94, 82–94.
- Statistix 10. (2020, September 14). *Statistix 10: Data Analysis Software for Researchers.* <https://www.statistix.com/>
- Tiempo, E. (2019, February 15). Crudo derramado por atentado contaminó 25 kilómetros del río Catatumbo. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/contaminacion-del-rio-catatumbo-alcanzo-25-kilometros-327246>

- UPO. (2004). Determinación De Materia Orgánica En Aguas : Demanda Química De Oxígeno. *Técnicas Avanzadas En Química*, 1–4.
- Van Straalen, N. M., Donker, M. H., Vijver, M. G., & Van Gestel, C. A. M. (2005). Bioavailability of contaminants estimated from uptake rates into soil invertebrates. *Environmental Pollution*, 136(3), 409–417. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.019>
- Varon Lopez, A. (2009). *Dinámica y distribución de la contaminación por cromo, plomo y mercurio en especies representativas de la cadena trófica de la laguna de Sonso. trabajo de grado de Química*. Universidad del Valle.
- Velásquez Pérez, T., Puentes Velásquez, A. M., & López Vargas, L. E. (2012). *Representación Ontológica de Peces del Catatumbo*. 1(19). <https://doi.org/10.24054/01204211.v19.n19.2012.154>
- Vivas, A. H., Arboleda, M. A., Sánchez, R., Benítez-campo, N., Bravo, E., Soto, A., Jiménez, G. A., Muñoz, L. A., & Larmat, F. E. (2014). Evaluación de la mutagenicidad causada por metales pesados presentes en agua del río Cauca en la ciudad de Cali , Colombia Mutagenicity evaluation caused by heavy metals found in Cauca river water in the city of Cali , Colombia Avaliação de mutagenicidade. *Revista Colombiana de Química, Rev. Colomb. Quim*, 43(Mi), 18–24. <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n2.53119>
- Walton, H. F., & Reyes, J. (2005). *Análisis químico e instrumental moderno*.

14 ANEXOS

A. Socialización del proyecto a la comunidad y encuesta sobre las especies de peces de mayor consumo en la región



Fuentes: (Maury, 2019)

B. Época de muestreo en invierno



Fuentes: (Maury, 2019)

C. Epoca de muestreo en verano



Fuentes: (Maury, 2020)

D. Faena de pesca y recolecion de las muestras de agua

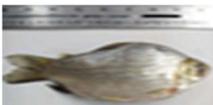


Fuentes: (Maury, 2019)

E. Fase de laboratorio en esta fase se realizó una disección ventral a *P. grosskopfii* y *P. reticulatus* para la extracción de las muestra de hígado, branquias, riñón para sus respectivos análisis.



Fuentes (Maury, 2019)

| Nombre común | Orden | Familia | Genero | Especies | Cantida d | Imagen |
|-------------------------------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|---|
| Linterna, viejita, mojarra amarilla | Perciformes | Cichlidae | <i>Caquetaia</i> | <i>kraussii</i> | 2 |  |
| Muelona, mueluda | Characiformes | Cynodontidae | <i>Gilbertolus</i> | <i>Alatus</i> | 1 |  |
| Corito, viejita | Characiformes | Curimatidae | <i>Cyphocharax</i> | <i>Aspilos</i> | 2 |  |
| Bocachico | Characiformes | Prochilodontidae | <i>Prochilodus</i> | <i>Reticulatus</i> | 2 |  |
| Manamana | Characiformes | Curimatidae | <i>Potamorhina</i> | <i>Laticeps</i> | 2 |  |

| | | | | | | |
|---------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|---|---|
| Agujón, agujeta | Characiformes | Ctenolucidae | <i>Ctenolucius</i> | <i>Hujeta</i> | 1 |  |
| Rampuche | Characiformes | Pimelodidae | <i>Pimelodus</i> | <i>Grosskopfii</i> | 2 |  |
| Coroncoro, cacucho, | Siluriformes | Loricariidae | <i>Hypostomus</i> | <i>Plecostomus</i> | 1 |  |
| Pileta, bomba | Siluriformes | Loricariidae | <i>Lamontichthys</i> | <i>Maracaibero</i> | 1 |  |
| Pileta | Siluriformes | Loricariidae | <i>Loricaria</i> | <i>Gymnogaster</i> | 1 |  |
| Capitanejo | Siluriformes | Heptapteridae | <i>Rhamdia</i> | <i>Rhamdia quelen</i> | 1 |  |
| Piro, coti | Characiformes | Anostomidae | <i>Schizodon</i> | <i>Fasciatus</i> | 1 |  |
| Raya, Raya de rio | Myliobatiformes | Potamotrygonidae | <i>Potamotrygon</i> | <i>Yepezi</i> | 1 |  |

Tabla 7. Especies recolectadas bajo el permiso marco resolución número 200 del 13 abril de 2015 y depositadas en la colección Ictiológica del Museo José Celestino Mutis de la Universidad de Pamplona.

G. Base de datos de morbilidad en los últimos cuatro años de los moradores de tibu y sus corregimiento esta información se utilizó para hacer recomendaciones a investigaciones futuras sobre metales pesados versus humanos (Anexo 1 y 2);

