



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**PROYECTO DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD:

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**NIVELES DE MERCURIO TOTAL EN *Aequidens rivulatus*
(VIEJA) EN EL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR,
MANABÍ-ECUADOR.**

AUTORES:

**MARLEY VIVIANA MOREIRA CALDERÓN
WILLIAMS ABEL ROMERO QUIROZ**

TUTORA:

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

MARLEY VIVIANA MOREIRA CALDERÓN Y WILLIAMS ABEL ROMERO QUIROZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

MOREIRA CALDERÓN VIVIANA

ROMERO QUIROZ WILLIAMS

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc., certifica haber tutelado el trabajo de titulación **NIVELES DE MERCURIO TOTAL EN *Aequidens rivulatus* (VIEJA) EN EL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR, MANABÍ-ECUADOR**, que ha sido desarrollada por **MARLEY VIVIANA MOREIRA CALDERÓN Y WILLIAMS ABEL ROMERO QUIROZ**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **NIVELES DE MERCURIO TOTAL EN *Aequidens rivulatus* (VIEJA) EN EL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR, MANABÍ-ECUADOR**, que ha sido propuesto, desarrollado por MARLEY VIVIANA MOREIRA CALDERÓN Y WILLIAMS ABEL ROMERO QUIROZ, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

BLGO. ENRIQUE RICHARD M.Sc

MIEMBRO

ECO. ROBERTO ZAMBRANO FARIAS. M.Sc

MIEMBRO

ING. LAURA GEMA MENDOZA CEDEÑO, M.Sc

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A **DIOS** que nos dio la vida, salud y la oportunidad de compartir con nuestras familias.

A nuestros **PADRES**, a quienes nos han heredado El tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: el amor

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos dio la oportunidad de crecer como ser humano a través de una educación superior de calidad y en la cual hemos forjado nuestros conocimientos profesionales día a día.

A nuestros docentes de dicha institución, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión.

De manera especial a nuestra tutora de tesis **Q. F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc.**, por habernos guiado, no solo en la elaboración de este trabajo, sino a lo largo de nuestra carrera universitaria y habernos brindado el apoyo para desarrollarnos profesionalmente y seguir cultivando nuestros valores.

A la **ING. Laura Gema Mendoza M.Sc, Blgo. Enrique Richard M.Sc, Eco. Roberto Zambrano M.Sc**, miembros del tribunal de tesis, por su gran aporte brindado en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

Poniendo a DIOS por delante de todo, las cosas saldrán siempre bien.

Dedico mi tesis al forjador de mi camino **DIOS**, por permitirme tener vida, salud y poder realizar uno más de mis propósitos que es de ser ingeniero.

A mis padres, **NEBER ROMERO** y **SANDRA QUIROZ**, por haberme forjado como la persona que soy, por su apoyo incondicional, por su amor, comprensión, educación y sobre todo por el impulso que me brindaron en los momentos más difíciles de mi trayectoria académica.

A mis hermanos **DIEGO, RAQUEL, INÉS, SANDRA, MARÍA, EMILY**, por su ejemplo, quienes me enseñaron que con trabajo y perseverancia se encuentra el éxito profesional.

A mi amiga y compañera de tesis **VIVIANA MOREIRA CALDERÓN**, por todo su afecto y cariño ya que son los detonantes de mi felicidad.

A mi familia y amigos que de una u otra forma me ayudaron durante toda mi carrera universitaria.

¡MIL GRACIAS!

WILLIAMS ROMERO QUIROZ

DEDICATORIA

Dedico mi tesis al forjador de mi camino **DIOS**, por permitirme tener vida, salud y poder realizar uno más de mis propositos que es de ser ingeniera.

A la mujer que me consagró la vida, con esfuerzo y sacrificio pudo lograr pulirme con valores los cuales motivaron a ser la persona que soy.

Esta meta la cual significa mucho va dedicada a la única persona que ha estado conmigo desde mi niñez hasta los actuales momentos, que ha sido mi promotora y quien me impulsó a lograr este anhelado título, mi madre **BETTY CALDERÓN BRAVO**.

A mi único hermano, aunque no seamos perfectos a el tambien se la dedico porque a pesar de todo lo amo **DIEGO BAUTISTA CALDERÓN**.

A mi abuela, **CARMEN BRAVO**.

A mi sobrina, **SOFIA BAUTISTA** .

A las personas que dijeron que no lo lograria a ellas también dedico esta meta, porque **mas vale tarde que nunca**.

VIVIANA MOREIRA CALDERÓN

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CUADROS.....	xi
FIGURAS.....	xi
GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
PALABRAS CLAVES.....	xii
ABSTRACT	xiii
KEY WORKS.....	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Hipótesis	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Generalidades sobre los metales pesados.....	6
2.2. Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos.....	7
2.2.1. Origen natural	7
2.2.2. Origen antropogénico.....	7
2.3. Movimiento de residuos de metales pesados en el ambiente.....	7
2.4. Distribución y niveles de metales pesados en agua	8
2.5. Distribución y niveles de metales pesados en peces.....	8
2.6. Factores que afectan la acumulación de metales pesados en peces	8

2.6.1. Dieta.....	9
2.6.2. Estación del año.....	9
2.6.3. Diferencias interespecíficas.....	9
2.7. Toxicidad de metales pesados para los peces	9
2.8. Mercurio.....	10
2.9. Propiedades fisicoquímicas.....	10
2.10. Características químicas del mercurio.....	11
2.11. Toxicidad.....	12
2.12. Presencia en la naturaleza, biodisponibilidad y biomovilización	12
2.13. Ciclo natural del mercurio.....	13
2.14. Ciclo biogeoquímico	13
2.15. Ciclo de biotransformación	14
2.16. Mercurio en peces.....	14
2.17. Nivel máximo del metilmercurio en el pescado.....	15
2.18. Mercurio en sedimentos	15
2.19. Mercurio en el agua.....	16
2.20. Metilmercurio.....	17
2.21. Mercurio y la salud	17
2.22. Efectos en el ambiente	18
2.23. Mercurio en Ecuador	19
2.24. Absorción atómica con generación de hidruros (HG-AAS)	20
2.25. Especie en estudio.....	21
2.25.1. Características generales.....	21
2.25.2. Forma.....	21
2.25.3. Comportamiento.....	22
2.25.4. Alimentación.....	22
2.25.5. Reproducción	22
2.26. Metodología de colecta de peces	23
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	24
3.1. Ubicación	24
3.1.1. Duración del trabajo.....	24
3.2. Variables en estudio.....	24
3.2.1. Variable dependiente.....	24

3.2.2. Variable independiente.....	24
3.3. Métodos	24
3.4. Técnicas.....	25
3.4.1. Sistema de posicionamiento global.....	25
3.5. Procedimientos.....	25
Fase I. Identificación de características morfológicas de la especie en estudio....	25
Fase II. Cuantificación de los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias del pez <i>Aequidens rivulatus</i> (vieja).....	26
Fase III. Interrelacionar los niveles de mercurio con las características morfológicas de los peces.....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Identificación de características morfológicas de la especie en estudio.....	29
4.2. Cuantificación de los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias del pez <i>Aequidens rivulatus</i> (vieja)	31
4.3. Interrelacionar los niveles de mercurio con las características morfológicas de los peces.....	31
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1. Conclusiones.....	40
5.2. Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	49

CUADROS

Cuadro 2. 1. Propiedades del Mercurio	10
Cuadro 2. 2. Taxonomía de <i>Aequidens rivulatus</i>	21
Cuadro 4. 1. Coordenadas de los puntos de muestreo	29
Cuadro 4. 2. Longitud y peso del pez vieja (<i>Aequidens rivulatus</i>) de la sub cuenca del río Carrizal	30
Cuadro 4. 3. Resultados de los análisis de Hg del pez vieja del río Carrizal	31

FIGURAS

Figura 4. 1. Ubicación de los puntos de muestreo	30
---	----

GRÁFICOS

Gráfico 4. 1. Relación entre peso y nivel de Hg en músculo (agosto)	32
Gráfico 4. 2. Relación entre longitud y nivel de Hg en músculo (agosto)	32
Gráfico 4. 3. Relación entre peso y nivel de Hg en músculo (octubre)	33
Gráfico 4. 4. Relación entre longitud y nivel de Hg en músculo (octubre)	33
Gráfico 4. 5. Relación entre peso y nivel de Hg en hígado (agosto)	34
Gráfico 4. 6. Relación entre longitud y nivel de Hg en hígado (agosto)	34
Gráfico 4. 7. Relación entre peso y nivel de Hg en hígado (octubre)	35
Gráfico 4. 8. Relación entre longitud y nivel de Hg en hígado (octubre)	35
Gráfico 4. 9. Relación entre peso y nivel de Hg en branquias (agosto)	36
Gráfico 4. 10. Relación entre longitud y nivel de Hg en branquias (agosto)	36
Gráfico 4. 11. Relación entre peso y nivel de Hg en branquias (octubre)	37
Gráfico 4. 12. Relación entre longitud y nivel de Hg en branquias (octubre)	37

RESUMEN

La investigación se centró en la determinación de los niveles de mercurio total en *Aequidens rivulatus* (vieja) en el río Carrizal del Cantón Bolívar de la provincia de Manabí, mediante la cuantificación de los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias y su relación con las características morfológica (peso y longitud). Se ejecutó como investigación con los métodos cuantitativos y cualitativos que sirvieron para diagnosticar dicha problemática. Se describió y analizó las características biogenéticas de la especie, además de la clasificación física y taxonómica como base, información necesaria para la evaluación de la acumulación del mercurio. El muestreo se realizó mediante el establecimiento de nueve estaciones de muestreo, tomando dos especies en cada punto establecido, tomando un total de dieciocho especímenes durante la época lluviosa y seca. Los resultados identificaron, que, los niveles de mercurio detectados en las muestras del pez, correspondientes a los dos meses de muestreo, dieron como resultado cifras que se encuentran debajo y otras cifras que sobrepasan el límite permisible (0,5 ppm) según la normativa internacional y también se constató, que las muestras con mayor concentración se encontraron en el mes de agosto, en el músculo con 4,036 ppm, en la estación E7, tomada en el sector de San Bartolo. Además se pudo observar una relación significativa entre el peso y la longitud con la acumulación de mercurio en el musculo e hígado del pez en el mes de octubre, mientras que en el mes de agosto no existió una relación del peso y longitud con la concentración de mercurio en los órganos diana. Concluyendo que características morfológicas (peso y longitud) con un promedio de longitud de 153,88 mm y de peso 128,61 g, presentaron variación de acuerdo a cada muestreo ejecutado y que tuvieron gran influencia con los niveles de mercurio encontrados en los peces de las nueve estaciones planteadas en el río Carrizal.

PALABRAS CLAVES

Contaminación de agua, monitoreo, análisis

ABSTRACT

The research focused on the determination of total mercury levels in *Aequidens rivulatus* (vieja) in the Carrizal del Cantón Bolívar river in the province of Manabí, by quantifying mercury levels in muscle, liver and gills and their relationship with morphological characteristics. (weight and length). It was executed as non-experimental research, with the quantitative and qualitative methods that served to diagnose this problem. The biogenetic characteristics of the species were described and analyzed, in addition to the physical and taxonomic classification as a basis, information necessary for the evaluation of mercury accumulation. Sampling was carried out through the establishment of nine sampling stations, taking two species at each established point, taking a total of eighteen specimens during the rainy and dry season. The results identified, that, the levels of mercury detected in the fish samples, corresponding to the two months of sampling, resulted in figures that are below and other figures that exceed the permissible limit (0.5 ppm) according to the regulations international and it was also found that the samples with the highest concentration were found in the month of August, in the muscle with 4,036 ppm, in the E7 station, taken in the sector of San Bartolo. In addition, a significant relationship between weight and length was observed with the accumulation of mercury in the muscle and liver of the fish in October, while in August there was no relationship between weight and length with the concentration of mercury in the target organs. Concluding that morphological characteristics (weight and length) with an average length of 153.88 mm and weight 128.61g showed variation according to each sample executed and had a great influence with the mercury levels found in the fish of the nine stations raised on the Carrizal river

KEY WORKS

Water contamination, monitoring, analysis

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es indispensable para el desarrollo de la vida, ya que constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos (Vera-Brito, 2007). Las incesantes actividades industriales, la minería y el desarrollo de la urbanización han incitado un aumento considerable de la contaminación química por metales pesados tanto en aguas superficiales como subterráneas (González, 2015).

Uno de los principales problemas en la actualidad, es la contaminación por metales pesados, ya que presentan efectos negativos en el agua, suelo, sedimentos, aire, vegetación, animales y salud humana. Los metales pesados, generalmente no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales, debido a que no son biodegradables (Eróstegui, 2009); además, son muy contaminantes, sufren un ciclo global ecobiológico donde las aguas naturales son su principal camino, tienen un comportamiento bioacumulativo (Moalla, Awadallah, Rashed, y Soltan, 1997)

La contaminación en los ríos se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a las actividades antropogénicas. Los metales pesados como: Antimonio (Sb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), selenio (Se), zinc (Zn) (Rosas, 2001); son de carácter acumulativo y pueden alcanzar niveles de concentración perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas (González, 2015). Para Reyes, Vergara, Torres, Díaz, y González (2016), la contaminación por metales pesados en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más duras problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel mundial.

El Hg es uno de los metales más tóxico y peligroso que se acumulan en los peces en todo el mundo, no respeta las fronteras, puede viajar largas distancias por la atmósfera y se deposita lejos de su fuente original, donde las bacterias lo absorben y lo convierten en una forma muy tóxica, el metilmercurio, que se abre camino en la cadena alimentaria (Leganés, 2013).

Según Reyes y otros, (2016), a nivel global y especialmente en países en vías de desarrollo se han reportado casos que dan cuenta de las afecciones en la salud por causa del consumo de alimentos contaminados por metales pesados por su elevada toxicidad, el impacto causado en salud por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante. Por otro lado, (Gaiolia, Amoedo, y González, 2012) menciona que, el mercurio es un importante tóxico ambiental con gran impacto sobre la salud humana ya que ocasiona daños irreversibles en el sistema nervioso central, principalmente en las etapas de mayor vulnerabilidad. Siendo las principales fuentes de contaminación por mercurio las de origen natural debida a los desprendimientos de la corteza terrestre y la causada por el hombre en los procesos industriales, que es la más importante y la que causa el 75% de las contaminaciones (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002).

La preocupación ambiental por el mercurio está asociada principalmente con el metilmercurio, el cual es el complejo mercurial orgánico más común. Se forma cuando el mercurio elemental se libera al ambiente y se transforma a través de los procesos de metilación en complejos orgánicos. Esta transformación está mediada por la interacción con bacterias y otros microorganismos que viven en el suelo, las aguas y los sedimentos (Serrano L. , 2007).

Por su parte Weinberg (2014) en su investigación afirma que el metilmercurio se acumula a niveles que pueden dañar tanto a los peces como a los animales que se alimentan de ellos; las aves y los mamíferos que se alimentan de peces, están por lo general más expuestos que otros animales de los ecosistemas acuáticos. En forma similar, los depredadores que comen animales que se alimentan de peces también están en riesgo.

Estudios epidemiológicos recientes sobre el impacto de la exposición al mercurio a dosis bajas, a través del consumo de pescado han dejado claro lo que muchos habían temido durante mucho tiempo: la salud humana está en peligro incluso para concentraciones muy pequeñas de Hg (Weinberg, 2014).

La presencia en los recursos hídricos de metales pesados y sustancias orgánicas complejas, entre otras, han sido responsables de innumerables situaciones de

impacto sobre el ecosistema acuático y la salud pública en general (Mancera y Álvarez, 2006). El río Carrizal, del cantón Bolívar, provincia de Manabí, no es ajeno a la problemática de degradación de los recursos naturales, principalmente referido al uso y manejo de los cuerpos de agua.

Este río está siendo afectado por acciones antropogénicas, tales como: la deforestación, ya que se destruyen grandes áreas de bosque natural para convertirlos en zonas agro pastorales y para explotación de la madera; la mala práctica agrícola, que se evidencia por un excesivo uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas, que luego son acarreados por la escorrentía del agua lluvia hasta el río aportando nutrientes a los mismos (Corral y Macías, 2015).

Por lo antes expuesto, los investigadores formulan la siguiente interrogante:

¿Cuál es la concentración de mercurio total en *Aequidens rivulatus* (vieja) en el río Carrizal del cantón Bolívar, provincia de Manabí?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Durante los últimos años de acuerdo a (Londoño, 2014) el incremento de la minería, del sector industrial, así como el incremento de las poblaciones ubicadas en las proximidades de los ríos, ha dado lugar a la contaminación de muchos cursos fluviales, incluyendo diversas áreas del litoral; siendo la contaminación por metales pesados ya sea de forma natural o antropogénica un tema de actualidad tanto en el área ambiental, como en la salud, principalmente debido al impacto negativo que ha dejado en la percepción pública, específicamente, afectando drásticamente la seguridad alimentaria y a la humanidad (Huang, 2014).

Metales pesados como el mercurio, han sido utilizados desde hace mucho tiempo en distintas aplicaciones industriales y domésticas, sin tener un conocimiento preciso de los posibles efectos negativos que pueden causar a los recursos naturales donde estas actividades se generan (Nava y Méndez, 2011).

Sin embargo, Martorell (2010), menciona, que no solo este metal contamina el agua en su forma elemental, sino también como componentes de pesticidas, fertilizantes y lixiviados de minas, donde muchas industrias vierten importantes

cantidades de sustancias altamente tóxicas a las aguas de los ríos, las cuales se emplean para riego agrícola.

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente, es la capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimentaria; hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, adhiriéndose en los peces con fuerza, bioacumulándose casi el 100% del mercurio en especies depredadoras (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2005).

En este contexto, teniendo en cuenta que la contaminación ambiental por metales pesados se ha asociado a efectos negativos a la salud por exposición y consumo crónico de este tipo de sustancias, se plantea la presente investigación con la finalidad de evaluar los niveles de mercurio total en *Aequidens rivulatus* (vieja) del río Carrizal del cantón Bolívar, especie muy común en nuestro medio y de un consumo considerable en el área de estudio seleccionada y sus alrededores.

Constituyendo un aporte de carácter ambiental al diagnóstico del río antes mencionado, sumando esfuerzos al Plan Cero Mercurio del (Ministerio del Ambiente, 2013), para de esta manera conseguir facilitar la toma de decisiones de carácter gubernamental, y además de medidas de control, vigilancia y mitigación con respecto al riesgo de consumir especies ictícolas que contengan metales pesados.

Además este proyecto se enmarca en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; y en sus Lineamientos territoriales para cohesión territorial con sustentabilidad ambiental y gestión de riesgos, en el literal b Gestión del hábitat para la sustentabilidad ambiental y la gestión integral de riesgos, donde se plantea, promover una gestión integral y corresponsable del patrimonio hídrico para precautelar su calidad, disponibilidad y uso adecuado, con acciones de recuperación, conservación y protección de las fuentes de agua, zonas de recarga, acuíferos y agua subterránea; considerando el acceso equitativo de agua para consumo, riego y producción (Secretaría Nacional de Planificación y

Desarrollo, 2017).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de mercurio total en *Aequidens rivulatus* (vieja) del río Carrizal del cantón Bolívar, provincia de Manabí.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características morfológicas de las especies en estudio, *Aequidens rivulatus* (vieja).
- Cuantificar los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias del pez *Aequidens rivulatus* (vieja).
- Interrelacionar los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias con respecto a la longitud y peso del pez *Aequidens rivulatus* (vieja).

1.4. HIPÓTESIS

Los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias, se encuentran directamente relacionada con la longitud y peso del *Aequidens rivulatus* (vieja) del río Carrizal del cantón Bolívar.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES SOBRE LOS METALES PESADOS

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos de la serie de transición de la tabla periódica que tienen una densidad superior a 6/g/cm³ y un peso atómico comprendido entre 63,55 cobre(Cu) y 200,59 mercurio(Hg), de acuerdo a su interrelación con los seres vivos, se distinguen dos grupos dentro de los metales pesados (Goyer, 2010).

Un grupo de oligoelementos o micronutrientes que se requieren en pequeñas cantidades para el funcionamiento de sistemas enzimáticos, dentro de los que se encuentran el (Cu), (Fe), (Se) y (Zn), entre otros, que a su vez pueden ser tóxicos si se incrementa la concentración a la cual se exponen los organismos. El otro grupo son los metales pesados sin función biológica conocida, los cuales pueden originar efectos tóxicos a partir de determinadas concentraciones; este grupo tiene la propiedad de ser persistentes en el ambiente y bioacumularse, haciendo que su concentración en un organismo vivo, tienda con el tiempo, a superar la concentración del elemento en el ambiente; en este grupo se encuentran el Cd, Cr, Pb, Hg y Tl (López y Ayala, 2013).

La forma específica de un elemento definida por su composición isotópica, su estado electrónico o de oxidación y/o su estructura compleja o molecular) y su interrelación con el ambiente, los metales pesados pueden presentar diferentes rutas de movilidad a nivel ambiental. En el suelo, de acuerdo a las características del mismo, pueden quedar retenidos, ya sea por fijación por procesos de adsorción y precipitación, o disueltos en la solución del mismo; pueden ser absorbidos por plantas y de esa manera incorporarse a las cadenas tróficas. A nivel aéreo pueden ingresar a la atmosfera por fenómeno de volatilización y por último, pueden movilizarse hacia aguas superficiales o subterráneas, especialmente provenientes de suelos en los cuales el efecto de los ácidos facilita la liberación y migración de los metales. La principal forma por la cual los metales pesados entran en contacto con el ser humano es por el consumo de agua o alimentos contaminados (Manahan, 2005).

2.2. ORIGEN DE LOS METALES PESADOS EN LOS SISTEMAS ACUÁTICOS

2.2.1. ORIGEN NATURAL

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación. La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Rojas, 2005).

2.2.2. ORIGEN ANTROPOGÉNICO

Se entiende por contaminación de origen antropogénico según Chata (2015), a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados, Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado; los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico.

2.3. MOVIMIENTO DE RESIDUOS DE METALES PESADOS EN EL AMBIENTE

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el Pb, Cd y Hg son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Si bien los metales pesados tienen una actividad tóxica reconocida a concentraciones altas, los organismos vivos tienen necesidad vital de alguno de ellos, ya que son necesarios para diversas funciones fisiológicas (Méndez, Lara, Moreno, y Ayala, 2007).

2.4. DISTRIBUCIÓN Y NIVELES DE METALES PESADOS EN AGUA

La concentración de metales en agua superficial contribuye a la acumulación de metales en branquias y riñón de peces. Las branquias se exponen a metales a través del agua ya que están constantemente en contacto directo. Los riñones están expuestos a los metales del agua porque la sangre fluye desde las branquias a la arteria carótida, que aporta sangre al riñón (Marrugo, Navarro, y Guzmán, 2015).

En general, el orden de acumulación de metales pesados en la red trófica es (capa biológica= sedimentos>invertebrados>peces). Aunque las concentraciones absolutas de metales están más elevadas en la capa biológica y sedimentos, los metales se pueden biomagnificar en peces (Hirose, 2006).

2.5. DISTRIBUCIÓN Y NIVELES DE METALES PESADOS EN PECES

Los metales pesados pueden entrar en los peces por 3 posibles vías: a través de las branquias, considerada como la vía más directa e importante, a través de la ingestión de comida, también importante, y por último y con una importancia menor, a través de la superficie corporal (Amundsen, y otros, 2000).

Los datos de un estudio realizado por (Frag, Woodward, Goldstein, Brumbaugh, y Meyer, 2003), demuestran que los metales son biodisponibles y que aunque no se biomagnifiquen a través de niveles tróficos, sí se bioacumulan a concentraciones que causen efectos fisiológicos en peces.

2.6. FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN PECES

De acuerdo a Anadon y Muñoz (2015), el medio acuático puede ser dividido en tres compartimentos principales: agua, sedimentos y organismos vivos. Los elementos metálicos naturalmente presentes en el medio ambiente o introducidos artificialmente por las actividades humanas se reparten en estos compartimentos en función de diferentes mecanismos de naturaleza química, física o biológica. Los intercambios entre estos compartimentos estarán influenciados por las variaciones de los factores ecológicos abióticos

(características físicoquímicas del agua y de los sedimentos) o bióticos (hábitat, régimen alimentario, naturaleza y cantidad de alimento disponible) y por las variaciones del débito fluvial según las estaciones y fluctuaciones climatológicas.

2.6.1. DIETA

La dieta y hábitos alimenticios según Kock (2010) pueden condicionar los niveles de metales pesados ingeridos, donde se encontraron una correlación positiva entre el contenido de Mercurio de la ingesta y sus niveles en estómago e intestino de los peces.

2.6.2. ESTACIÓN DEL AÑO

La estación del año no es un factor que influya de forma directa en la acumulación de metales pesados en los peces, son otros factores relacionados con los cambios estacionales, como la composición de la dieta (comentada anteriormente) y las precipitaciones (agua de escorrentía) las que más influyen en la concentración de metales pesados en peces, sin embargo se debe tomar en cuenta en monitoreos prolongados (Carusso, Klaue, Michalke, y Rocke, 2003).

2.6.3. DIFERENCIAS INTERESPECÍFICAS

Existen diferencias de acumulación de metales entre las distintas especies, siendo comprobado por casi todos los estudios realizados sobre acumulación de metales en diversas especies que comparten el mismo hábitat. A grandes rasgos, las diferencias de acumulación entre especies parecen estar relacionado con el estatus trófico que ostentan (Mancilla, y otros, 2012).

2.7. TOXICIDAD DE METALES PESADOS PARA LOS PECES

Se podría establecer tres umbrales críticos para el contenido de metales según Drastichová, y otros (2004) mencionan un primer umbral, a nivel de trazas, donde los metales esenciales juegan su papel de activadores enzimáticos indispensables en el metabolismo; un segundo umbral, que determina una absorción pasiva, donde los metales van acumulándose en ciertos órganos; y un tercer umbral, incompatible con los fenómenos vitales, que desencadena

procesos de defensa que tienden a disminuir la permeabilidad y el paso de estos metales a través de las membranas celulares.

2.8. MERCURIO

El mercurio es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente debido a su alta presión de vapor, convirtiéndolo en un contaminante óptimo por su capacidad para generar reacciones químicas en las que pueden participar microorganismos que lo utilizan en sus procesos energéticos, incorporándolas al medio ambiente en una transición de compuestos inorgánicos a orgánicos todas las formas de Hg se transforman en metil mercurio Hg^{2+} en el agua por reacción con O_2 el metilmercurio es hidrosoluble y liposoluble (Osores, Grández, y Fernández, 2010).

El mercurio utilizado en la explotación de depósitos de oro, se pierde cerca de un gramo en el medio ambiente por cada gramo de oro producido, también contienen los termómetros, en vacunas como preservantes, cosméticos, fungicidas, insecticidas, productos de limpieza, industria del papel, preservantes de semillas, pilas, baterías, computadoras y componentes electrónicos diversos, lámparas fluorescentes entre otros (Álvarez, Sotero, Brack, y Ipenza, 2011).

2.9. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

El mercurio es un metal cuyo símbolo químico es Hg, en el sistema periódico se ubica en el grupo IIB (metales de transición). Algunas de las propiedades del mercurio se muestran en la Cuadro 2.1

Cuadro 2. 1. Propiedades del Mercurio

N° Atómico	80
Peso Atómico	200,59
Punto de fusión	-38,9 C
Punto de ebullición	356,6 C

Densidad	13,55 g/cm ³ a 25 C°
Solubilidad	6*10 ⁻⁵ g/l a 25C°
Presión de vapor	1,22*10 ⁻⁵ mm a 20°C 2,8*10 ⁻⁵ mm a 30°C
Estado de oxidación	0, I y II
Formas en la naturaleza	Estado nativo Complejos inorgánicos Complejos orgánicos Sulfuros mercurícos y Sulfosales mercurícas estables
Minerales principales	Cinabrio Livigstonia Metacinabrio

Según el (Instituto Internacional de Eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes, 2007), el mercurio posee una baja solubilidad en agua y una alta volatilidad que le permite su presencia en la atmósfera en forma de mercurio elemental, también existen sales de mercurio volátiles como el cloruro de mercurio (HgCl₂) pero éstas son solubles en agua provocando que se depositen mucho más rápido, disminuyendo su tiempo en la atmósfera. Los estados de oxidación del Hg son tres: 0 (elemental), I (mercurioso) y II (mercúrico). Los estados de oxidación mercúrico y mercurioso forman un gran número de compuestos orgánicos e inorgánicos que son las formas en las que se encuentra el Hg en el ambiente. En ocasiones se encuentra este metal en estado puro, es decir, como metal líquido.

2.10. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL MERCURIO

El mercurio puro y a temperatura ambiente no se oxida, sin embargo al calentar cerca de su punto de ebullición, si lo hace, aunque lentamente, formando HgO. Reacciona con HNO₃ y H₂SO₄ caliente, sin embargo, no lo hace con HCl, ni con H₂SO₄ frío o álcalis. Reacciona con disoluciones de amoniaco en presencia de aire para generar Hg₂NOH (base de Millon). Reacciona explosivamente con tetracarbonil-niquel ácido peroxifórmico; dióxido de cloro (con agitación); 3-bromo-propino; metil-silano y oxígeno (con agitación) y disoluciones concentradas de perclorato de plata con 2-pentino o 3-hexino (Rosales, 2016).

El catión mercurioso Hg₂+1 (Hg+-Hg+), se oxida con facilidad a mercúrico, Hg+1, y no es fácil que entre dentro de las cadenas tróficas, aunque sí que está presente en algunos procesos industriales. Por su parte, tanto el Hg metal, como el HgO, en forma de partículas, se encuentran en la atmósfera, y son fuentes continuas de contaminación (Parrales, 2013).

2.11. TOXICIDAD

Según la Comisión Europea (2005) indica, que el mercurio es un contaminante global y uno de los metales pesados más tóxicos, pero su grado de toxicidad depende de la forma en la que se encuentre siendo las orgánicas, en concreto el metilmercurio y el dimetilmercurio, las formas más dañinas.

El mercurio puede ingresar al organismo por las siguientes vías: inhalatoria, oral y dérmica. La vía oral es la principal vía de exposición ya que se absorben del 90 al 95% en el tracto gastrointestinal. La toxicidad del mercurio se encuentra directamente relacionada a su unión covalente con los grupos sulfhidrilos (SH) también tiene afinidad a los grupos carboxilos, amidas, aminas, lo que contribuye a su toxicidad a nivel de la membrana citoplasmática esta posee grupos sulfhidrilos que son esenciales para las propiedades normales de permeabilidad y transporte. Inhibe enzimas esenciales como las catalasas plasmáticas, asimismo afecta la homeostasis del ión calcio, incluso en exposiciones a corto plazo (menores a 24 horas) produciendo muerte neuronal (Ministerio de Salud de Perú, 2013).

En el agua se considera aceptable una concentración de 0,001 mg l⁻¹ y una ingesta semanal tolerable de mercurio total de 5 µg kg⁻¹ de peso corporal y de metilmercurio 1,6 µg kg⁻¹ de peso corporal (OMS, 2014).

2.12. PRESENCIA EN LA NATURALEZA, BIODISPONIBILIDAD Y BIOMOVILIZACIÓN

El mercurio, no es un metal abundante en la corteza terrestre, su concentración se estima en unas 0,5 ppm, aunque su distribución es muy irregular, y se acumula en grandes bolsas, donde la concentración de mercurio es muy elevada. Además, hay que destacar, que dentro de las cadenas tróficas, el mercurio sufre procesos de bioconcentración, principalmente en los animales marinos y en los cereales, lo que hay que tener muy en cuenta como fuente de contaminación accidental (Doadrio, 2013).

La movilidad y biodisponibilidad del mercurio, va a estar determinada por una serie de factores físicoquímicos entre los que se encuentra: el pH, el potencial

redox, los iones cloro, bromo y yodo presentes, así como, los óxidos de Fe y Mn y la materia orgánica. Son numerosos los estudios que han demostrado que la adsorción del mercurio depende del pH de la fase acuosa, la presencia de cloruros y la naturaleza del sorbente sólido (Millán, y otros, 2009)

2.13. CICLO NATURAL DEL MERCURIO

La principal incorporación del mercurio a la atmósfera es debida al vulcanismo y al proceso de desgasificación del mercurio metal, por sublimación. A partir de la atmósfera, o bien se inhala directamente, o se incorpora a las cadenas tróficas, mediante el ciclo del agua; una vez liberado a la atmosfera, el mercurio tiene un tiempo de residencia que varía bastante en función de la forma en el que se encuentre. Así, el Hg(0) tiene un tiempo de residencia medio de alrededor de un año, mientras que el mercurio oxidado Hg(II) tiene tiempos de residencias que oscilan entre horas y meses, ya que puede ser depositado con relativa facilidad tanto por vía húmeda como por vía seca (Gaona, 2004).

2.14. CICLO BIOGEOQUÍMICO

De forma natural el ciclo biogeoquímico del mercurio sigue una dinámica cíclica, la cual se ve influenciada por las actividades antropogénicas. Se define como un ciclo continuo entre la atmósfera, la tierra y el agua, caracterizado por la gran movilidad que presenta el mercurio entre los diferentes compartimentos ambientales. Esto es debido a que el mercurio por lo general es muy inestable en el medio ambiente ya que está sujeto a reacciones químicas, biológicas y fotoquímicas (López, Sierra, Rodríguez, y Millán, 2010).

El ciclo biogeoquímico del mercurio comienza con su liberación al medio a partir de la erosión de rocas que contienen dicho metal. De ahí, pasa tanto a las aguas superficiales como subterráneas llegando finalmente a los océanos. En ambos medios, corteza terrestre y océanos, allí tienen lugar reacciones de desgasificación y volatilización del mercurio, pasando de este modo a la atmósfera (Gaona, 2004).

2.15. CICLO DE BIOTRANSFORMACIÓN

Dependiendo del estado de oxidación que se presente el mercurio y la especie que esté conformando, un microorganismo puede realizar dos transformaciones posibles. Una correspondería a la movilización del metal, es decir el pasaje de un estado insoluble inicial (metales asociados a suelos, sulfuros u óxidos metálicos, por ejemplo) correspondiente a una fase sólida, a un estado soluble final, en fase acuosa. Este proceso se conoce con el nombre de lixiviación microbiana. El otro corresponde a la inmovilización del metal, es decir el pasaje de un estado soluble inicial en fase acuosa a uno insoluble final en fase sólida. A su vez existen en la naturaleza diferentes mecanismos por los cuales la inmovilización del metal puede llegar a ocurrir (Vullo, 2011).

2.16. MERCURIO EN PECES

Un factor importante de los efectos del mercurio en el ambiente es su capacidad de acumularse en organismos y ascender por la cadena trófica. Aunque todas las formas químicas descritas de mercurio pueden acumularse, el metilmercurio es absorbido y se acumula más que otras formas (Olivero, Caballero, y Marrugo, 2011).

Sin embargo, la distribución del mercurio en los órganos de los peces, depende de las condiciones de exposición, el comportamiento del agua y los sedimentos que afectan la especiación química y la biodisponibilidad del metal, así mismo depende de las propiedades estructurales y funcionales de las diferentes especies de peces, lo que podría afectar la ingesta de dichos peces a través de las barreras biológicas, como lo son las paredes intestinales y/o a nivel de las branquias, los procesos de almacenamiento en las células y tejidos, y los mecanismos de depuración/excreción (Houserova, Kuban, y Habarta, 2009).

La relación entre las concentraciones de metilmercurio y los regímenes alimenticios de las especies es directamente proporcional, (Brachet, Durrieu, Dominique, y Boudou, 2007) ya que la biomagnificación de mercurio en el tejido muscular de especies carnívoras es del 80%. Mientras que la concentración en las especies bentívoras es menor, puesto que ingieren pequeños invertebrados con cargas de metilmercurio bastante bajas en el hígado y los riñones. Lo que

confirma que a menor escala en la cadena alimenticia, los organismos se encuentran menos expuestos a la acumulación de este metal.

2.17. NIVEL MÁXIMO DEL METILMERCURIO EN EL PESCADO

Para proteger contra las exposiciones elevadas al mercurio, la Comisión del Codex Alimentarius ha establecido nuevos límites para el metilmercurio contenido en los peces. Los peces con una vida prolongada y con una posición más alta en la cadena alimentaria, acumulan niveles elevados de metilmercurio. El mercurio puede tener efectos tóxicos en los sistemas nervioso, digestivo e inmune de los humanos, y en los pulmones, riñones, piel y ojos. Para reducir la exposición al metilmercurio, la Comisión estableció límites para varias especies de peces, que van de 1,2 a 1,7 mg por kg de pescado.

Esto incluye no más de 1,2 mg de metilmercurio por kg de atún, 1,5 mg por kg de alfonsino, 1,7 mg por kg de pez vela (espadón) y 1,6 mg por kg de tiburón, (FAO, 2018).

2.18. MERCURIO EN SEDIMENTOS

Dentro de los ecosistemas acuáticos, los sedimentos funcionan como trampas naturales de xenobióticos y constituyen el principal reservorio de la mayoría de las sustancias de origen antrópico. Particularmente los metales, presentan una elevada densidad (mayores de 7 g cm⁻¹ a excepción del aluminio) y pasan a formar parte de los sedimentos. El mercurio (Hg) es uno de los elementos más tóxicos y la formación de especies solubles en agua son limitadas (Marín, 2016).

El Hg suele quedar atrapado en los sedimentos, permaneciendo en formas que son poco biodisponibles y difíciles de remover, debido a la presencia de materia orgánica y sulfuros que le proporcionan una condición reductora. La forma particulada constituye más del 90 % del mercurio total en sistemas de agua dulce, estuarios o zonas costeras. No obstante, un pequeño porcentaje del Hg enlazado a las partículas de sedimento de forma inestable, puede cambiar su forma iónica y estar biodisponible para biota, haciendo posible su flujo hacia la columna de agua y a la cadena alimentaria (Marín, 2016).

Según Selin (2010), los peces de agua dulce, en concentraciones son miles de veces mayores que las encontradas en las aguas donde habitan tales especies, en su acumulación en humanos, principalmente por la dieta, está plenamente ilustrado con la enfermedad de Minamata, una de las mayores tragedias ambientales de la historia. Las consecuencias de intoxicación masiva por mercurio son de carácter irreversible, y frenan el desarrollo sostenible al imposibilitar la utilización y comercialización de recursos contaminados, lo que además genera un invaluable deterioro social ligado al nacimiento de niños con malformaciones y retardo mental o psicomotor (García, 2009).

2.19. MERCURIO EN EL AGUA

El mercurio usualmente se introduce en los ambientes acuáticos, por deposición húmeda y seca sobre la superficie del agua o por escorrentía de las cuencas en forma de ion mercurio, el cual se adsorbe fácilmente en las partículas, favoreciendo su metabolización por los microorganismos (Selin, 2010).

El metilmercurio es la principal forma orgánica del mercurio, siendo el compuesto resultante de la unión del metal con el carbono, los microorganismos convierten el ion mercurio a metilmercurio y a pesar de que es pequeña la cantidad que se genera en los fondos marinos, este fenómeno puede contaminar las cadenas tróficas acuáticas, ya que se incorpora en peces y mariscos a través de las branquias, y en ellos se acumula en las proteínas de los tejidos, actuando como una potente neurotoxina. Dicha metilación la realizan un importante número de bacterias, principalmente del grupo de las reductoras de sulfato, en condiciones anóxicas de los fondos y sedimentos marinos (Kerin, y otros, 2006).

Además, los principales problemas con el mercurio, en los cuerpos de agua se asocian con la descarga de efluentes urbanos y de las actividades industriales que han tenido como consecuencia un deterioro en la salud de los ecosistemas, poniendo en peligro la abundancia y biodiversidad de especies y la calidad de vida de los seres humanos (Lapo, 2016).

Se ha demostrado mediante estudios que una gran cantidad de mercurio presente en la atmósfera contribuye a una mayor contaminación de aguas. Esto como parte del ciclo en el medio ambiente, ocurre la deposición natural en la

superficie presente en la atmósfera. Por ende, la cantidad de mercurio particulado y volátil que se deposite en los suelos dependerá del grado de contaminación que exista en el ambiente, por ejemplo, en zonas industriales o con actividad volcánica constante; dicho metal depositado de la atmósfera es fuertemente retenido por aguas superficiales y suelos. En zonas donde existe mayor cantidad de precipitaciones y humedad, la filtración se dará de forma más rápida (Castello, 2015).

2.20. METILMERCURIO

El metilmercurio MeHg es la forma de mercurio con mayor responsabilidad por la contaminación con mercurio de los peces y mariscos, y de las aves y mamíferos que se los comen. Cuando una persona ingiere metilmercurio, el estómago y los intestinos lo absorben en forma mucho más completa que el mercurio inorgánico. Las bacterias que viven en aguas con bajos niveles de oxígeno en disolución llevan a cabo un importante proceso de biometilación. En aguas dulces y aguas salobres esto puede suceder en los sedimentos de los estuarios y en el fondo de los lagos. También puede formarse metilmercurio en los océanos, cuando el mercurio de la atmósfera cae sobre la superficie del océano y es transportado hasta las profundidades, donde las bacterias presentes de forma natural descomponen la materia orgánica y al mismo tiempo, convierten el mercurio en metilmercurio (Weinberg, 2014).

Una vez en el medio ambiente, el metilmercurio se bioacumula y biomagnifica a medida que los organismos más grandes se comen a los más pequeños. A diferencia del mercurio metálico, cuando una persona ingiere alimentos contaminados con metilmercurio, el estómago y los intestinos lo absorben y transporta rápidamente hasta el torrente sanguíneo. Desde allí entra de inmediato en el cerebro de un adulto, de un niño o de un feto en desarrollo. El metilmercurio se acumula en el cerebro y se va convirtiendo lentamente en mercurio inorgánico elemental (González, 2015).

2.21. MERCURIO Y LA SALUD

El mercurio tiene diversos efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente; sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema

nervioso en desarrollo. Su nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, cantidad, vía de exposición y vulnerabilidad de la persona expuesta (Carrasco, 2008).

La ingesta de metilmercurio (MeHg) a través de peces y alimentos del mar es actualmente un problema de salud pública, dada su toxicidad en el desarrollo neurológico en fetos y niños. El etilmercurio y el fenilmercurio son usados como bacteriostáticos en varias preparaciones farmacológicas tópicas (Figueroa, 2004).

El mercurio elemental (Hg_0) apenas es tóxico por vía oral, ya que su absorción es muy baja y se elimina con mucha rapidez. En cambio, en forma de vapor, es altamente tóxico porque es absorbido rápidamente por los pulmones pudiendo dar lugar a intoxicaciones tanto agudas como crónicas (UNEP, 2003).

El mercurio elemental inhalado en forma de vapor, provoca síntomas como temblores, cambios emocionales, insomnio, cambios neuromusculares y cefaleas. En el caso de exposiciones elevadas a los vapores del mercurio elemental, se sufren síntomas más severos afectando al sistema pulmonar, nervioso, respiratorio y renal, pudiendo ocasionar la muerte (Serrano, 2007).

2.22. EFECTOS EN EL AMBIENTE

La mayoría del mercurio liberado por las actividades humanas es liberado al aire, a través de la quema de productos fósiles, minería, fundiciones y combustión de residuos sólidos. Diversas formas de actividades humanas liberan mercurio directamente al suelo o al agua, como la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales industriales. Todo el mercurio que es liberado al ambiente eventualmente terminará en suelos o aguas superficiales (Hernández, 2012).

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático, debido a que el metilmercurio (toxina muy potente para el pescado) con el tiempo se acumula en la vida acuática en concentraciones y niveles más elevados. Al ir remontando la cadena alimentaria, las dosis medidas en los depredadores van por consiguiente en aumento (Altahona y Movilla,

2016).

Aguas superficiales ácidas pueden contener significantes cantidades de mercurio. Cuando los valores de pH están entre cinco y siete, las concentraciones de mercurio en el agua se incrementarán debido a la movilización del mercurio en el suelo. El mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales o suelos los microorganismos pueden convertirlo en metil mercurio, una sustancia que puede ser absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido que daña al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metilmercurio de agua superficial cada día. Como consecuencia, el metilmercurio puede acumularse en peces y en las cadenas alimentarias de las que forman parte (Lozada, 2007).

2.23. MERCURIO EN ECUADOR

Ecuador se encuentra entre los principales países contaminantes con mercurio del mundo y es el cuarto a nivel regional y esto se debe en gran medida a la liberación de mercurio en fuentes de agua y en el suelo por la minería artesanal y a pequeña escala; en este sentido, el organismo legislativo ha ratificado el Convenio de 'Minamata', compromiso internacional adquirido por el Ecuador, que pretende regular la extracción, comercialización, manejo y uso del mercurio para proteger la salud humana (Mosquera, 2016).

De acuerdo a Pernía, y otros (2018), dentro de las 18 provincias estudiadas, 9 superan el límite máximo permitido en los suelos y sedimentos. El orden de contaminación de Hg en ppm de mayor a menor por Provincias es Guayas (3,43ppm), Manabí (3,37 ppm), El Oro (2,16 ppm), Azuay (1,19 ppm), Santa Elena (0,97 ppm), Zamora (0,72 ppm), Napo (0,69 ppm), Morona (0,67 ppm) y Esmeraldas (0,59 ppm).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013), implementó el plan 'Cero Mercurio', que estipulaba vía ley orgánica, la prohibición definitiva del uso de mercurio en actividades mineras. Ese mismo año, la entonces ministra Lorena Tapia informaba durante la firma del convenio 'Minamata' que el Ministerio de Salud (MSP) desarrollaba un "modelo de gestión para la reducción, sustitución y eliminación de equipos, dispositivos y materiales que contienen mercurio en los

establecimientos de salud públicos y privados del Ecuador”.

2.24. ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERACIÓN DE HIDRUROS (HG-AAS)

La absorción atómica es el proceso mediante el cual el átomo en estado fundamental puede absorber energía de una radiación a una longitud de onda específica y pasar al estado excitado. La espectrometría de absorción atómica usa este proceso para cuantificar la cantidad de energía, en forma de fotones de radiación, absorbidos por una muestra (García, 2010).

HG-AAS es el método más común para la determinación de Hg en el agua, con un límite de detección inferior a 0,001 mg/L (1 µg/L), siendo la técnica más utilizada a nivel mundial en los últimos años, en general, HG-AAS es un método sencillo que requiere instrumentación relativamente económica y muy versátil, con excelente poder de detección para Hg. El método de reducción para la formación de otro compuesto del mercurio, implica la reacción del analito, en solución ácida, con NaBH₄. Una vez formado el hidruro gaseoso, éste es separado de la solución y transportado por un gas portador hasta una celda de cuarzo, la cual es calentada para producir la descomposición térmica (atomización) del analito; como dicha celda está en el paso óptico de la radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco, se produce la absorción de luz ($\lambda = 193,7\text{nm}$) por parte del conjunto de átomos de Hg, la cual será proporcional a su concentración (Karak, Abollino, Bhattacharyya, Das, y Paul, 2011).

El método más utilizado para la determinación del mercurio en cualquier medio ha sido la espectroscopia de absorción atómica (AAS) con la técnica del vapor frío. Esta técnica permite la determinación directa con la única condición de que el mercurio contenido en las muestras líquidas, normalmente en forma iónica como Hg²⁺, sea reducido al estado metálico Hg⁰. Posteriormente, el vapor formado se arrastra por un gas inerte hacia una celda de cuarzo en la que se produce el proceso de la absorción atómica. Las muestras sólidas se digieren antes para transformar todas las especies de Hg (inorgánicas y orgánicas) a Hg²⁺, ya que esta es la única especie capaz de generar el vapor de mercurio atómico (Sánchez, 2010).

Dentro de las desventajas se puede citar que el método consume tiempo y es complicado por la posibilidad de pérdidas por volatilización o digestión incompleta, así como la contaminación de las muestras. Se denota que de todas las técnicas analíticas utilizadas esta es la más empleada, por realizar etapas muy sencillas de extracción, además de cuantificar satisfactoriamente el mercurio en muestras de pescado (Ruíz, 2016).

2.25. ESPECIE EN ESTUDIO

Cuadro 2. 2. Taxonomía de *Aequidens rivulatus*

Clase	Osteichthyes	
Orden	Perciformes	
Familia	Cichlidae	
Género	<i>Aequidens</i>	
Especie	<i>A. rivulatus</i>	
Nombre común	Vieja azul, mojarra azul	

2.25.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Viven en lagos o en aguas de curso lento, a menudo en las regiones poco profundas cercanas a las orillas, donde las rocas y la vegetación les facilitan buenos escondrijos, además habita en el cauce inferior de los ríos, de aguas blandas (turbias) o claras de fondo fangoso, su distribución en Ecuador es amplia. Es una especie no muy exigente en cuanto a parámetros del agua, viviendo en aguas con un pH entre 6.0 a 8.0; y soportan temperaturas entre 20° a 26 °C, los machos llegan a 30cm y las hembras a 20cm en promedio (Zambrano, 2011).

2.25.2. FORMA

Es un pez de una gran cabeza definida, de las mismas proporciones que el tronco y la cola. El macho adulto presenta una joroba tras la frente que lo caracteriza. La aleta dorsal es grande, abarca la adiposa. También son grandes

sus aletas pectorales, al contrario de la anal. Boca con dientes en terminal del hocico. Cola simétrica homocerca redondeada. Pertenece a la Familia *Cichlidæ*, lo que indica que sus escamas son cicloídeas, pequeñas y ovaladas, con anillos de crecimiento (Molina, 2012).

2.25.3. COMPORTAMIENTO

Es un pez de fondo, y prefiere las aguas cálidas; tiene escasa movilidad ya que permanece quieto mucho tiempo esperando el paso de su presa para abalanzarse y tomarla. Es también agresivo y altamente territorial. El macho ataca a cualquier intruso de hasta su tamaño en su territorio, por lo que no puede convivir con otras especies en cautiverio, salvo otra pareja de *Aequidens* con macho de similar tamaño. No abandona su territorio, pero hace hoyos y mueve obstáculos en él continuamente (Martorell, 2010).

2.25.4. ALIMENTACIÓN

Con respecto a la alimentación de *A. rivulatus* en ambientes naturales, se le describe como una especie de hábitos carnívoros con tendencias insectívoras. Por ejemplo, los copépodos son parte importante en la dieta de *Aequidens rivulatus* mientras que otros autores la describen a esta especie como omnívora (Noboa, 2016).

2.25.5. REPRODUCCIÓN

El macho comienza su etapa reproductiva al desarrollarse su joroba. Forma pareja estable con su hembra, y prepara un nido para los huevos, en fondo o entre piedras, el mismo abarca de 100 a 800 huevos, con una media de 600 por desove. Estos huevos son redondos y de color blanco. El macho, quien hasta ese momento ha cuidado celosamente el territorio, fertiliza los huevos temblando enérgicamente, y luego es alejado por la hembra, quien los cuida y oxigena agitando sus aletas (Ortega, 2015).

La evolución de las crías es la siguiente: a las 48 horas de fertilizados, ya se forma el corazón y comienza a latir en forma lenta y regular. A las 78 horas se forma la columna vertebral, y las 120 horas eclosiona el huevo y sale la larva. La hembra transporta las larvas a un refugio seguro. A partir de este momento

comienzan las larvas a absorber el saco vitelino. A las 196 horas las larvas nadan libremente y buscan alimento permaneciendo aún al cuidado de la hembra que mantiene cuidándolos de depredadores y del padre en la boca hasta que alcanzan el tamaño para no ser presa fácil (Figuroa y Torres, 2009).

2.26. METODOLOGÍA DE COLECTA DE PECES

Los protocolos del Método Estándar de Aguas 10600, 1990 presentan una metodología aplicada para el uso de las artes de pesca estandarizada y diseñada. Para una correcta planificación y organización se requiere informarse con detalle de las acciones planificadas, solicitando permiso a las autoridades competentes y evitando dañar los centros de recreo que se encuentren dentro del lugar. Responder a los espectadores de una manera cortés y clara, mostrando el nombre y la dirección del grupo de estudio a través de etiquetas. Se debe deshacer de las muestras procesadas asignándolas a un museo, institución académica o sepultándolas en un área de tierra certificada o aislada, no se deben recoger muestras en exceso (González, Marrugo, y Martínez, 2015).

Para la pesca con red se utiliza en aparejos estáticos, como trampas y vertederos, y en aparejos activos, como red barredera y pesca a la rastra. La red puede ser fabricada en algodón, plástico o metal, el color de las redes presenta ventajas al momento de la recogida de la muestra (Jiménez, y otros, 2015).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

Según Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013); (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2009), la subcuenca del río Carrizal tiene una superficie de aproximadamente 1318,90 km² y se encuentra ubicada en el cantón Bolívar provincia de Manabí.

La presente investigación tiene por objeto evaluar los niveles de mercurio en *Aequidens rivulatus* (vieja) en la subcuenca del río Carrizal ubicada concretamente a lo largo del margen izquierdo de la cabecera cantonal, con una extensión de alrededor de 40 km, comprendida desde la presa Sixto Durán Ballén hasta la ciudad de Tosagua.

3.1.1. DURACIÓN DEL TRABAJO

Se estima una duración de nueve meses a partir de la aprobación del proceso de planificación del trabajo de investigación, en las que se incluyen las labores de diagnóstico, monitoreo y análisis de información.

3.2. VARIABLES EN ESTUDIO

3.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Concentración de mercurio total en músculo, hígado y branquias.

3.2.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Características morfológicas (longitud y peso) de *Aequidens rivulatus* (vieja).

3.3. MÉTODOS

Se aplicó el método cualitativo ya que se pudo diagnosticar la problemática de contaminación por metales pesados mediante visitas de campo y la realización de muestreos en la zona de estudio, además también fue de carácter cuantitativo debido a que se realizaron comparaciones espacio temporal por área, con repeticiones suficientes para describir la variabilidad del sistema.

3.4. TÉCNICAS

3.4.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El Global Position System (GPS) ofrecerá, en conjunto con la observación, una base para la comprobación de los datos obtenidos en los sistemas de información geográfica.

3.5. PROCEDIMIENTOS

FASE I. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

ACTIVIDAD 1. SELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

La selección del número de las diferentes estaciones muestreadas (entendidas éstas como la localización de una red de captura) se sustentó bajo (Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua Perú, 2011), que establece criterios de ubicación para puntos después del paso de poblaciones y de posibles fuentes de contaminación, además de la accesibilidad a las fuentes hídricas y dependiendo de la geomorfología del terreno, las mismas que estuvieron adaptadas de acuerdo al área del río, teniendo en cuenta la profundidad, heterogeneidad del hábitat, la accesibilidad al lugar.

Se posicionaron cada uno de los puntos de muestreo mediante dispositivos GPS las coordenadas UTM en el punto central de cada estación, además de ser representados en mapa.

ACTIVIDAD 2. CAPTURA DE LOS PECES (VIEJAS)

Luego de que sean establecidas las nueve estaciones de muestreo en el área de estudio, se procedió a la captura de los especímenes que se efectuó en 2 visitas de campo en los meses de agosto y octubre del año 2017 en cada uno de los puntos establecidos (E1,E2,E3,E4,E5,E6,E7,E8,E9); con la ayuda de los pescadores nativos de la zona y sus técnicas empíricas se llevó a cabo la colecta de los peces en cada punto.

La selección de la especie en estudio fue en base a los criterios de la (Directiva

76/464CEE de España, 2000), considerando a esta como especie indicadoras de la zona, de fácil recolección, y también, por su interés económico y nutritivo.

Para la captura de peces se siguieron los lineamientos establecidos por (Correa, Bolaños, Rebolledo, y Rubio, 2015), ejecutándose con la ayuda de redes de pesca como trasmallo en cada punto. Los peces capturados fueron almacenados en fundas plásticas en un cooler con hielo.

La cantidad de especímenes a analizar fue en base a lo sugerido por (Espinoza y Falero, 2015) donde se recolectaron dos especímenes por cada punto de muestreo, siendo esto la cantidad necesaria de ejemplares para poder tener muestra compuesta, como mínimo doscientos gramos (200 g) para el análisis.

ACTIVIDAD 3. MEDICIÓN DE CARACTERÍSTICAS

Con la utilización de un ictiómetro se tomó medidas de longitud total, que comprende desde la boca hasta la aleta caudal y la longitud estándar desde la boca hasta la terminación de la columna vertebral, se obtuvo además valores de peso mediante una balanza. Todos estos datos fueron registrados en una hoja de campo y se tomó de ejemplo a la especie para realizar un reporte fotográfico (Burgos y Pazmiño, 2016).

FASE II. CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS DEL PEZ *Aequidens rivulatus* (VIEJA)

ACTIVIDAD 4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Luego de obtener los peces a estudiar y medir sus características morfológicas, estos fueron llevados hasta el laboratorio para proceder al desmembramiento, extrayendo músculo sin restos de piel, hígado y branquias respectivamente, posteriormente fueron secados a una temperatura de 105 °C durante 12 horas. Las muestras secas se trituraron y almacenaron a 4°C. Posteriormente se pesaron 0,250g de muestra seca, serán atacadas con 5 mL de HNO₃ al 50% (p/v) y 1 ml de una solución mineralizadora [MgNO₃ al 20% p/v + MgO al 2% (p/v)]. Las muestras atacadas se dejaron en reacción durante 30 minutos y luego se calentaron en una estufa por 1 hora a 100 °C. Las soluciones se dejarán reposar por 30 minutos y posteriormente se filtraron, se las enrazaron a 25 ml

con agua desmineralizada y se analizaron por mercurio usando el sistema GH-AA200 (Murgueito, Cumbal, Aguirre, y Chávez, 2015).

ACTIVIDAD 5. DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE MERCURIO EN LAS MUESTRAS MEDIANTE EL MÉTODO DE ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON VAPOR FRÍO (AAS)

Para la medición de los parámetros se utilizó el método de espectroscopia de absorción atómica (AAS) con la técnica del vapor frío (Panichev y Panicheva, 2015). Tomándose en cuenta los siguientes pasos:

- A partir de una solución estándar de 1000 ppm de Hg se debe preparar una de 10 ppm y luego de ésta última una de 100 ppb.
- De la solución de 100 ppb se va preparar una curva de calibración, en matraces aforados de 100 ml, que contuvo 0 – 1 – 2 y 3 ppb de Hg.
- Paralelamente se tomará un volumen adecuado de muestra y se llevará a un matraz aforado de 100 ml.
- Se agregó a cada matraz un volumen de HCl concentrado de tal manera se obtendrá una solución de concentración de 3 M y se va aforar a volumen con agua destilada (ej. para un HCl 36 %, d. 1,18 g/ml hay que agregar 26 ml).
- Se instaló el generador de hidruro, según indicaciones de expertos.
- Se aspiró simultáneamente, desde sus respectivos envases, solución de boro hidruro de sodio 0,6 %; HCl concentrado y la muestra ya tratada.
- Se leyó las absorbancias de la muestra y de los estándares (sin usar llama).

FASE III. INTERRELACIONAR LOS NIVELES DE MERCURIO CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS PECES

ACTIVIDAD 6. RELACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de obtener las observaciones de los análisis a las muestras se procedió a realizar métodos estadísticos confiables y exactos que nos permitieron establecer una relación explícita entre cada espécimen con sus respectivas características morfológicas; para esto se aplicaron gráficos de dispersión y cálculos para obtener un promedio de cada espécimen.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

En la primera fase de la investigación se procedió a delimitar el área de estudio mediante la técnica de observación, para posteriormente establecer nueve estaciones dentro del río Carrizal teniendo como puntos establecidos la Esperanza, Quiroga, Barranco Colorado, Sarampión, Mata Palo, los Almendros, San Bartolo, la Karina y el Limón; se realizaron dos muestreos en cada punto en los meses de agosto y octubre respectivamente, el posicionamiento geográfico de los sitios donde se tomaron las muestras con un sistema de posicionamiento global portátil (GPS).

La georreferenciación del área muestreada y los puntos establecidos se realizaron aplicando el SIG (Sistema de Información Geográfica) y el programa ArcGis.

Cuadro 4. 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Estaciones	Coordenadas	
	X	Y
E1 La Esperanza	602324	9901991
E2 Quiroga	600978	9902075
E3 Barranco Colorado	598961	9903302
E4 Sarampión	596101	9903420
E5 Mata Palo	594588	9904209
E6 Los Almendros	594467	9905962
E7 San Bartolo	593187	9905913
E8 La Karina	593176	9907087
E9 Limón	591243	9908517

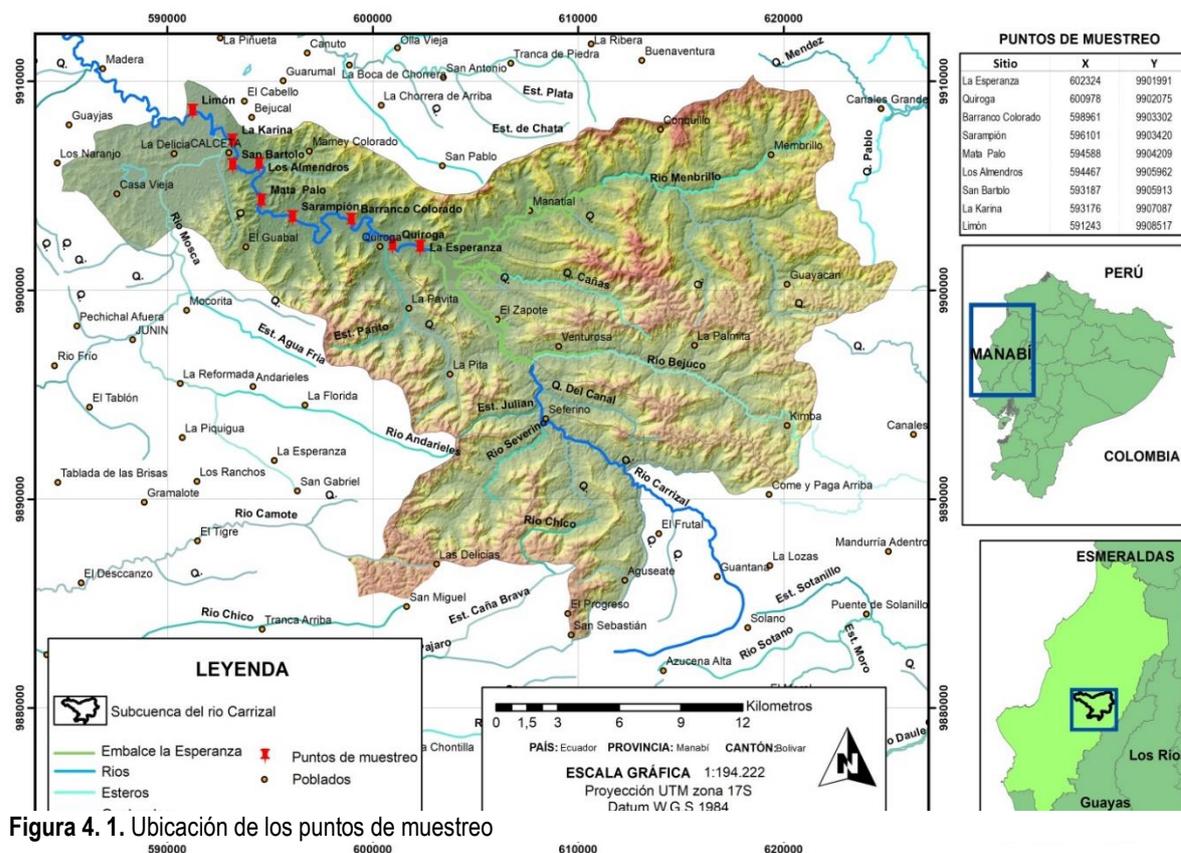


Figura 4. 1. Ubicación de los puntos de muestreo

Luego de establecer las nueve estaciones de muestreo se colectaron cada uno de los peces en las diferentes estaciones, estos fueron llevados hasta el laboratorio de la ESPAM MFL para su respectiva medición y pesaje antes de ser sometidos al desmembramiento y su posterior preparación para los análisis de mercurio.

A continuación se puede observar las características morfológicas medidas:

Cuadro 4. 2. Longitud y peso del pez vieja (*Aequidens rivulatus*) de la sub cuenca del río Carrizal

Meses		Estaciones								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Agosto	Longitud (mm)	140	150	160	140	150	160	160	180	180
	Peso (g)	124,5	99,09	117,8	101	101	131,6	125,7	163,2	210,3
Octubre	Longitud (mm)	120	130	150	140	170	150	160	180	150
	Peso (g)	120,2	97,6	110,3	99	99	128,4	122,8	157,9	205,7

4.2. CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS DEL PEZ *Aequidens rivulatus* (VIEJA)

Luego de preparar las muestras y someterlas al análisis de mercurio se obtuvieron los siguientes resultados expresados a continuación:

Cuadro 4. 3. Resultados de los análisis de Hg del pez vieja del río Carrizal

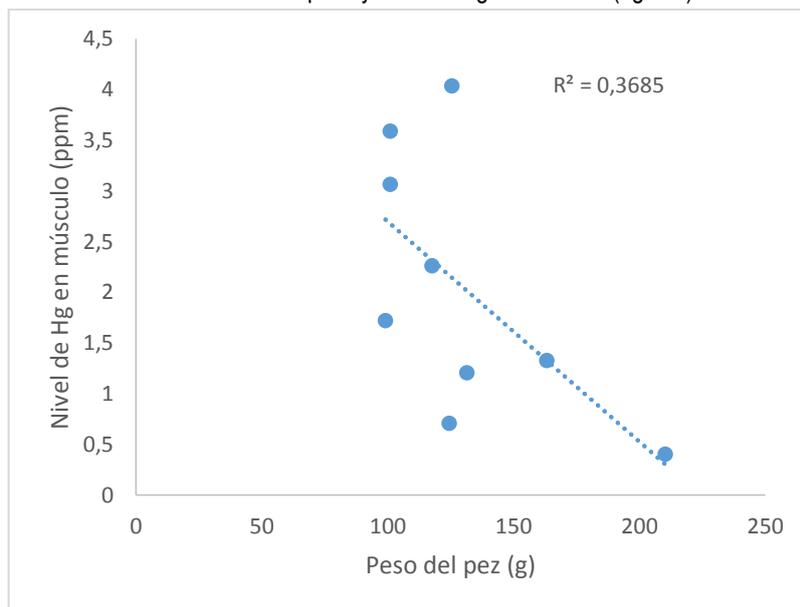
Parámetro	Unidad de medida	RESULTADOS SUBCUENCA						
		Estaciones	Muestras del pez Vieja					
			Músculo		Hígado		Branquias	
		Agosto	Octubre	Agosto	Octubre	Agosto	Octubre	
Mercurio (Hg)	Ppm	E1	0,706	0,387	0,471	0,312	0,469	0,745
		E2	1,718	0,176	0,436	1,243	0,442	0,234
		E3	2,259	0,395	0,461	2,174	0,433	0,368
		E4	3,589	0,453	0,434	0,105	0,419	0,124
		E5	3,065	1,644	0,529	1,036	0,431	0,241
		E6	1,206	1,123	0,452	1,967	0,388	0,298
		E7	4,036	1,283	0,472	1,898	0,454	0,487
		E8	1,326	1,078	0,453	3,829	0,107	0,351
		E9	0,401	1,095	0,46	0,543	0,439	0,325

Los niveles de mercurio detectados en las muestras del pez, correspondientes a los dos meses de muestreo, dieron como resultado cifras que se encuentran debajo y otras cifras que sobrepasan el límite permisible (0,5 ppm) según lo establece la Unión Europea (UE), también se constató, que las muestras con mayor concentración se encontraron en el mes de agosto, en el músculo con 4,036 ppm, en la estación E7, tomada en el sector de San Bartolo.

4.3. INTERRELACIONAR LOS NIVELES DE MERCURIO CON LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS PECES

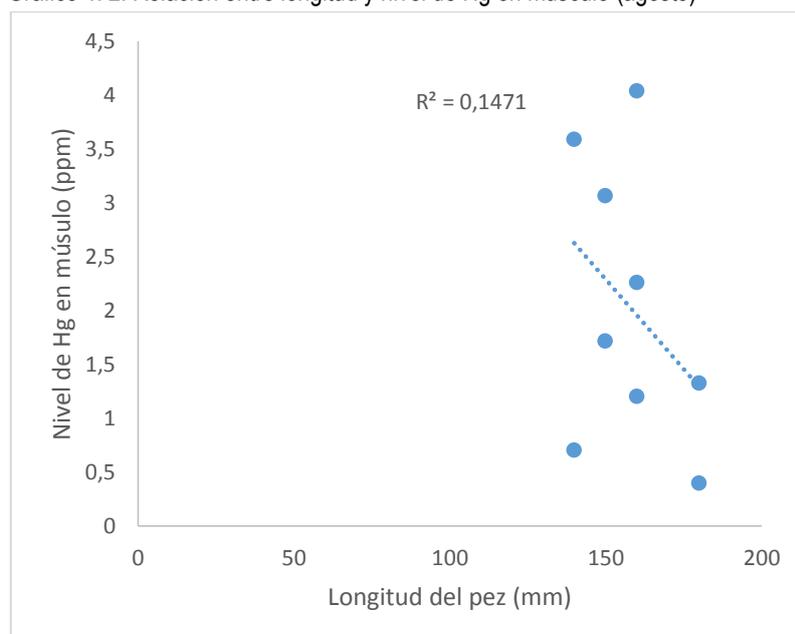
Se establecieron relaciones entre las características morfológicas (peso y longitud) de cada uno de los peces en estudio y los resultados obtenidos en los análisis de sus tejidos (músculo, hígado y branquias), reflejados en los gráficos presentados a continuación:

Gráfico 4. 1. Relación entre peso y nivel de Hg en músculo (agosto)



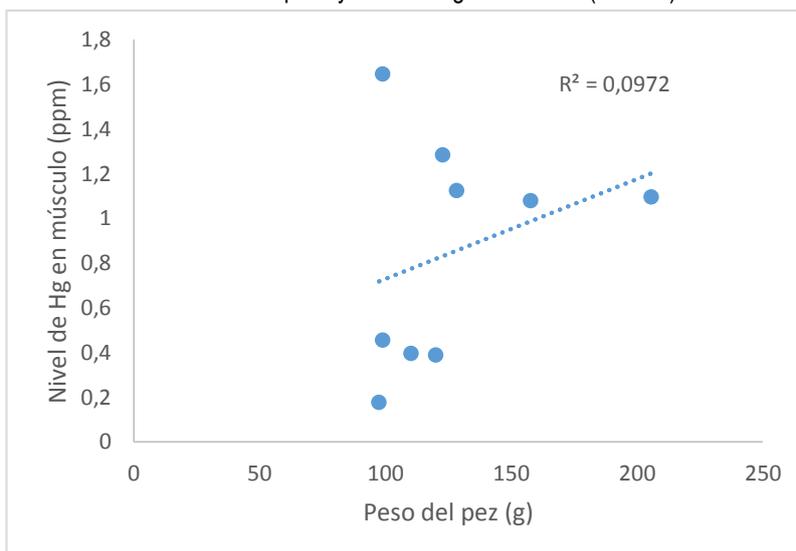
Entre el peso de la especie y el nivel de mercurio (Hg) en el músculo, el gráfico de análisis de regresión lineal no presentó resultados significativos, estableciendo que existe una relación negativa moderada, debido a que se trataba de una especie aun en estado juvenil.

Gráfico 4. 2. Relación entre longitud y nivel de Hg en músculo (agosto)



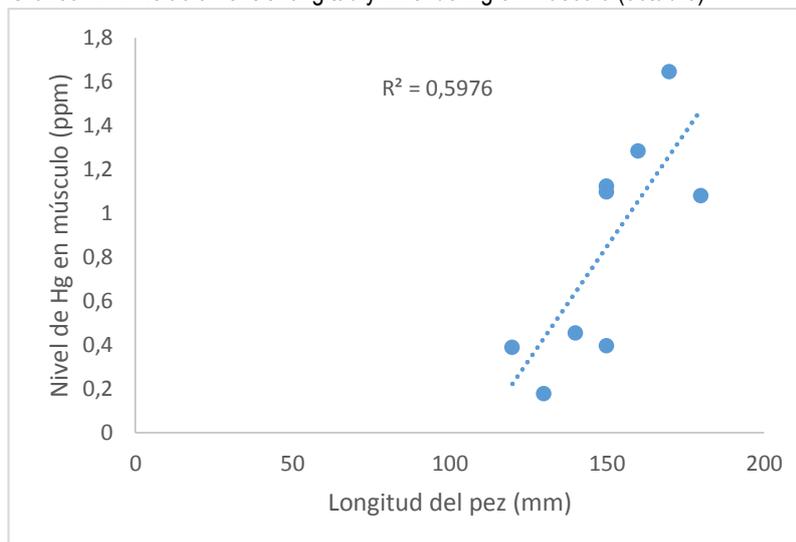
La relación de la longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el músculo en el mes de agosto, evidenció que existe una relación negativa baja, es decir a menor talla de los peces, menor será su acumulación.

Gráfico 4. 3. Relación entre peso y nivel de Hg en músculo (octubre)



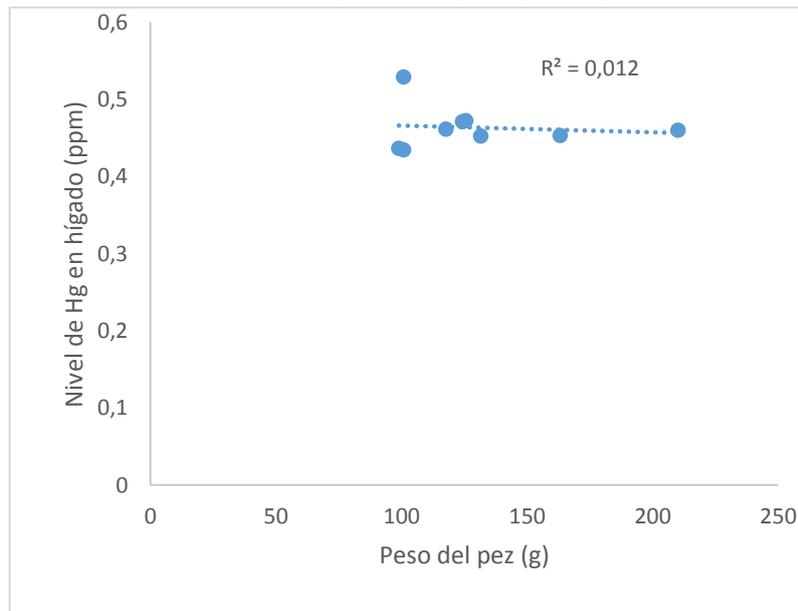
Entre el peso del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el músculo en el mes de octubre, existe relación positiva baja, donde al parecer el cambio de épocas del año está ejerciendo un factor importante en los peces, en relación del peso y por ende en los patrones de acumulación de mercurio.

Gráfico 4. 4. Relación entre longitud y nivel de Hg en músculo (octubre)



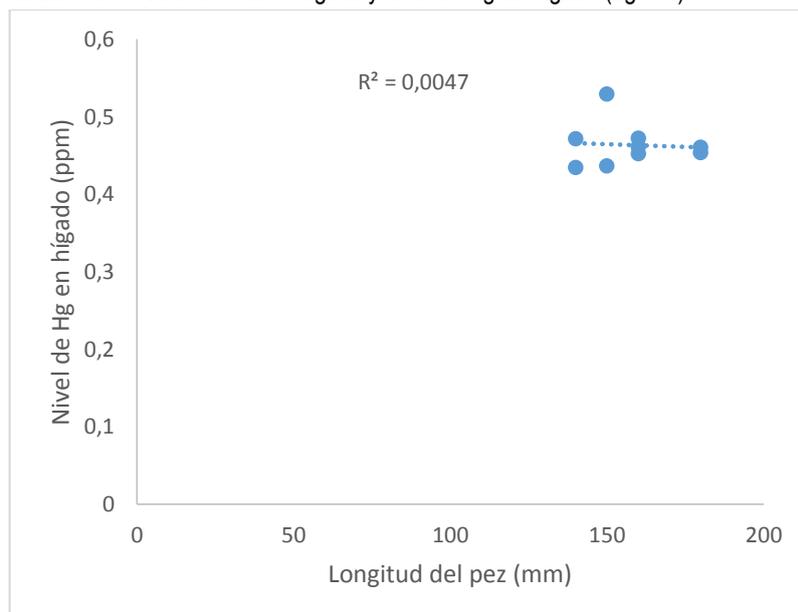
Entre la longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el músculo, existe una relación positiva alta, mostrando una tendencia a la acumulación de este metal en el mes de octubre.

Gráfico 4. 5. Relación entre peso y nivel de Hg en hígado (agosto)



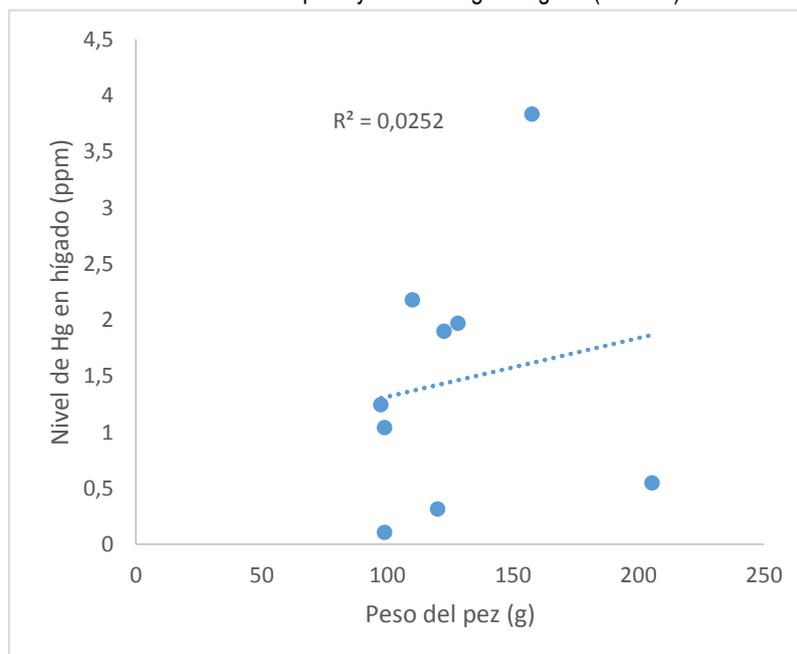
Entre el peso del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el hígado, no existe una relación, debido que no se relaciona las características morfológicas con la concentración de mercurio en el mes de agosto.

Gráfico 4. 6. Relación entre longitud y nivel de Hg en hígado (agosto)



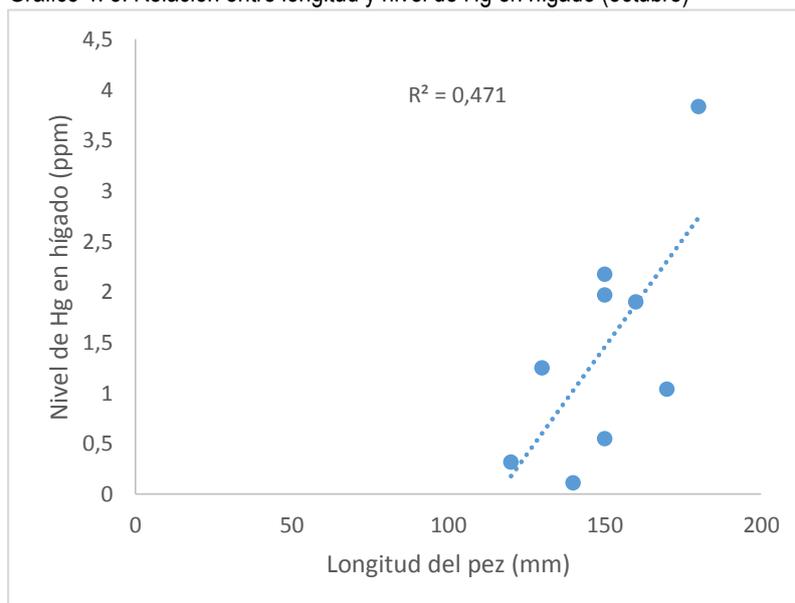
En el mes de agosto entre la longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el hígado, no existe una relación, es decir no se encuentra una concentración en este órgano diana.

Gráfico 4. 7. Relación entre peso y nivel de Hg en hígado (octubre)



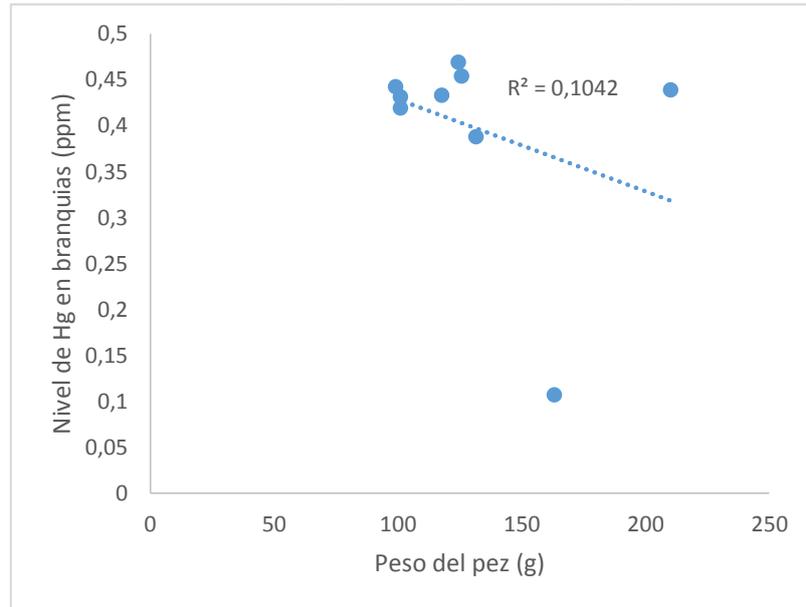
Entre el peso del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el hígado, existe una relación positiva baja para el mes de octubre, tomando en cuenta un patrón de acumulación en época seca.

Gráfico 4. 8. Relación entre longitud y nivel de Hg en hígado (octubre)



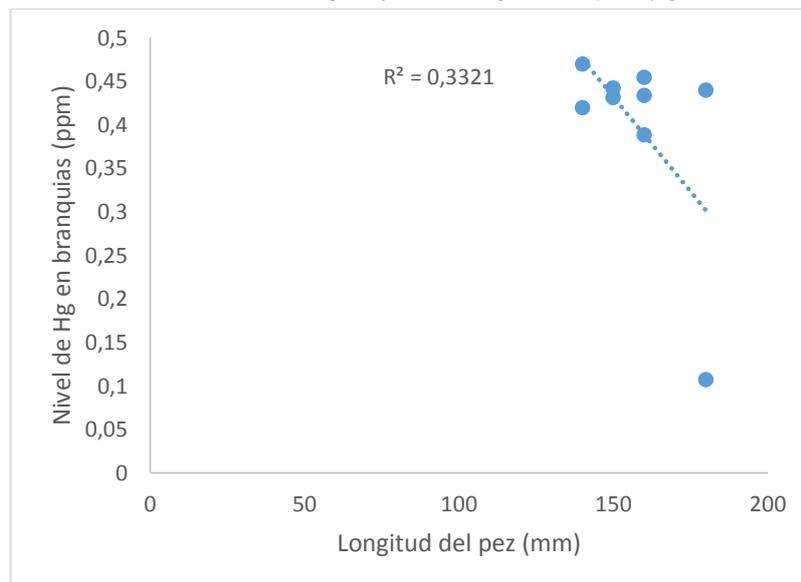
La longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en el hígado en el mes de octubre, evidenciando una relación positiva moderada, notando los patrones de acumulación espacial del mercurio.

Gráfico 4. 9. Relación entre peso y nivel de Hg en branquias (agosto)

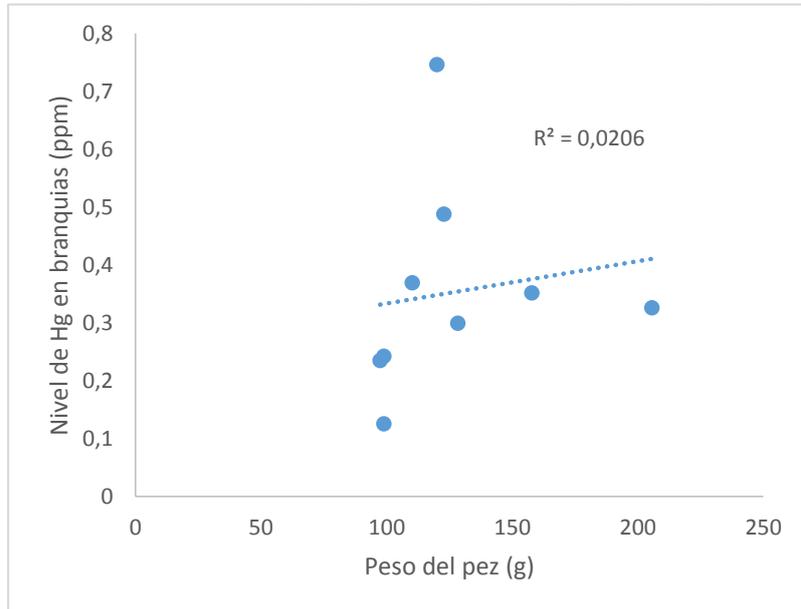


Entre el peso del pez y el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, existe una relación negativa baja, estableciendo que el peso no condiciona la acumulación de este metal en las branquias.

Gráfico 4. 10. Relación entre longitud y nivel de Hg en branquias (agosto)

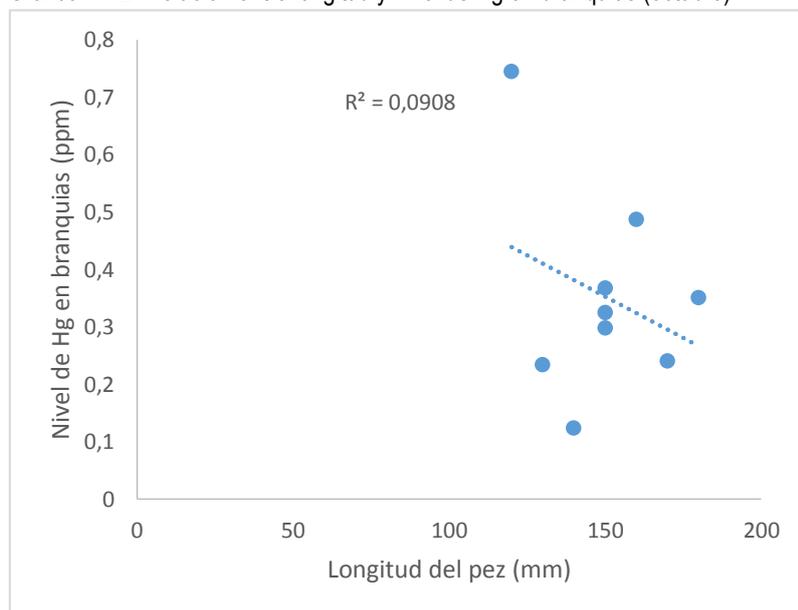


Entre la longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, existe una relación negativa baja como lo muestra la gráfica de regresión lineal simple para el mes de agosto.



En el mes de octubre, la relación del peso del pez y el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, demostró que existe una relación positiva débil, estableciendo que el poder quelante del metal no es bioacumulable.

Gráfico 4. 12. Relación entre longitud y nivel de Hg en branquias (octubre)



Entre la longitud del pez y el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, no existe una relación negativa débil, donde el coeficiente e correlación lineal mostró una correlación negativa de 0,090.

4.4. DISCUSIÓN

Los valores encontrados del contenido de mercurio en las muestras analizadas pertenecientes a la especie omnívora vieja azul (*Aequidens rivulatus*) (obtenidas en las 9 estaciones establecidas a lo largo del margen del río Carrizal), en algunos casos dieron en su mayoría valores cercanos al límite establecido por la Unión Europea (la norma establece un límite máximo de 0,5 ppm), aunque en algunos especímenes se obtuvieron valores elevados de 0,706 ppm, siendo el musculo el tejido con mayor concentración 4,036 ppm, lo cual no se diferencia mucho de otros resultados efectuados en Guayana Francesa, específicamente en la Cuenca Amazónica por (Maury-Brachet, y otros, 2006), quienes ubican a las especies omnívoras dentro del grupo de consumidores de presas con alto contenido de mmHg de entre 35 y 52% para los invertebrados bentónicos y hasta un 80% en tejido muscular de ejemplares de diferentes especies.

También se pudo observar la existencia de una relación significativa de la longitud con el nivel de mercurio (Hg) en el músculo en el mes de octubre, lo que de acuerdo a una investigación realizada por (Viana, 2010) se observa una relación del contenido metálico con respecto a la variable morfométrica como son peso y longitud, indicando que esta variable influye en la acumulación de metales, debido a que mientras más adulto es el pez más tiende a acumular. Además (Guinot, 2012) observó una tendencia al aumento de las concentraciones de metales en los músculos con los cambios estacionales, lo que podría explicar patrones estacionales en la variaciones de metales.

De acuerdo con Gracia, Marrugo, y Alvis (2010), esto implica un riesgo importante de ingestión de mercurio para los humanos por su posición en lo más alto de la cadena trófica, en particular para aquellas familias cuya única fuente de proteínas la constituye el consumo de pescado (Academia Nacional de Medicina; Fundación Pro-Agua, 2006).

El modelo de correlación entre los niveles de mercurio y las características morfológicas (peso y longitud) demuestran diferencias significativas entre estas variables. Lo anterior concuerda con la investigación realizada en Colombia, en

el embalse Urrá del río Sinú, que también manifiesta que la relación de la longitud de los peces omnívoros y la concentración de mercurio mostró una correlación significativa (Marrugo, Navarro, y Guzmán, 2015). Por lo tanto, estudios semejantes a los de este trabajo muestran que la bioacumulación y biomagnificación de Hg en los peces también dependen de la posición en la cadena trófica y hábitos alimenticios (Mancera y Álvarez, 2006); (Louma y Rainbow, 2011) además de su tamaño (peso corporal y la longitud), género, edad, tipos de tejidos analizados, y condiciones fisiológicas (Altahona y Movilla, 2016).

Cabe recalcar que no existen trabajos que evidencien la relación respecto al contenido de mercurio y el peso de especies omnívoras como la vieja azul.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada para la identificación de las características morfológicas permitió obtener resultados confiables y precisos, con un promedio de 153,88 mm de longitud y 128,61 g de peso por cada espécimen de un total de 18.
- Se comprobó la presencia de mercurio en la zona estudiada, en la especie seleccionada con un promedio de 0,92 ppm, nivel que se encuentra por encima del límite máximo permisible establecido en la Norma Internacional Europea (0,5 ppm), donde especímenes se obtuvieron valores elevados de 0,706 ppm, siendo el musculo el tejido con mayor concentración 4,036 ppm de mercurio.
- Las características morfológicas (peso y longitud) con un promedio de longitud de 153,88 mm y de peso 128,61 g; características que presentaron variación de acuerdo a cada muestreo ejecutado y que tuvieron gran influencia con los niveles de mercurio encontrados en los peces de las nueve estaciones planteadas en el río Carrizal, además encontrando relación de manera significativa con la concentración de mercurio en el músculo, en donde se obtuvo un promedio de 1,44 ppm de un total de 18 especímenes.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar visitas periódicas en la zona con especialistas, para determinar la bioacumulación del metal estudiado y buscar posibles soluciones.
- Establecer las fuentes por contaminación de mercurio en el río Carrizal del cantón Bolívar.
- Socializar problemática por altos niveles de contaminación por mercurio en peces a los habitantes cercanos a cada punto estudiado y sus consecuencias para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Medicina; Fundación Pro-Agua. (2006). *Seminario Internacional Clínica Del Mercurio*. Bogotá, D.C., Colombia: Kimpres Ltda.
- Altahona, E., y Movilla, K. (2016). *Análisis de las concentraciones de mercurio en peces importados en la ciudad de Barranquilla y riesgo potencial para la salud humana*. Barranquilla: Universidad de la Costa .
- Álvarez, J., Sotero, V., Brack, A., y Ipenza, C. (2011). *Minería Aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio. Una bomba de tiempo*. Súper Gráfica E.I.R.L.: Lima.
- Amundsen, P., Staldivik, F., Lukin, A., Kashulin, N., Popova, O., y Reshetnikov, Y. (2000). *Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia*. Norway: The Science Of The Total Environment 201.
- Anadon, A., y Muñoz, M. (2015). Acumulación tisular de zinc, plomo, cobre, hierro y cromo en truchas de Río,Salmo trutta fario.Acción ecotoxicológica. *Ser. Ganadera*, 34-54.
- Brachet, R., Durrieu, G., Dominique, G., y Boudou, A. (2007). Mercury distribution in fish organs and food regimes: significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian Basin. *Sci Total Environ*, 368(1), 260-270.
- Burgos, A., y Pazmiño, D. (2016). *Ictiofauna como bioindicador de calidad de agua en el humedal La Segua-Chone*. ESPAM. Bolívar: Tesis para la obtención de Ing. Ambiental.
- Carrasco, S. (2008). *El mercurio afectando a la salud de los ecosistemas* (Vol. 34). Santiago: Chile S.a.
- Carusso, J., Klaue, B., Michalke, B., y Rocke, D. (2003). Group assessment: elemental speciation. *Ecotox Environ*, 23-43.
- Castello, M. (2015). Determinación de mercurio en agua de consumo del cantón Rumiñahui. *Ecuaciencia*, 32(1), 22-25.
- Chata, A. (2015). *Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) en Agua y Leche en el Cuenca del Río Coata*. Lima: Universidad Nacional del Altiplano.
- Corral, G., y Macías, S. (2015). *Influencia del uso del suelo en el aprovechamiento de recursos naturales de la microcuenca del río Carrizal, caso Julian y Severino*. ESPAM. Bolívar: Tesis Ing. Ambiental.

- Correa, M., Bolaños, M., Rebolledo, E., y Rubio, D. (2015). Análisis del Contenido de Metales en Aguas, Sedimentos y Peces en la Cuenca del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas, Ecuador. *Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 4(2), 32-40.
- Directiva 76/464CEE de España. (2000). *Normativas Comunitarias Sobre Protección de las Aguas*. Barcelona: Directiva Marco del Agua.
- Doadrio, A. (2013). Generalidades del mercurio, características, ciclos, fuentes. *Vida acuática*, 12(3), 45-56. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/mercurio545.pdf>
- Drastichová, J., Svobodová, Z., Lusková, V., Čelechovská, O., y Kaláb, P. (2004). Effect of Cadmium on Blood Plasma Biochemistry in Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 733-740.
- Eróstegui, C. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 10-21.
- Espinoza, D., y Falero, S. (2015). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *v. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 18(36), 35-41.
- FAO. (2018). Comisión del Codex Alimentarius internacional. *Salud y bienestar*, 34(5), 54-67. Obtenido de <http://www.fao.org/news/story/pt/item/1143815/icode/>
- Farag, A., Woodward, D., Goldstein, J., Brumbaugh, W., y Meyer, J. (2003). Concentrations of metals associated with mining waste in sediments, biofilm, Benthic Macroinvertebrates, and fish from the Coeur d'Alene River Basin, Idaho. *Contam toxicol*, 23-45.
- Figuroa, L., y Torres, J. (2009). Reproducción y crecimiento en cautiverio de la mojarra criolla *Cichlasoma istlanum*. *Rev. AquaTIC*, 10(2), 80-97.
- Figuroa, M. (2004). *Determinación de metales pesados en especies* (Vol. 5). Buenos Aires: Casa Libro.
- Gaiolia, M., Amoedoa, D., y González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Arch Argent Pediatr*, 110(3), 259-264 .
- Gaona, X. (2004). *El mercurio como contaminante global y su liberación al medio ambiente*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona.
- García, G. (2010). *Determinación de mercurio por generación de vapor frío y detección vía absorción y fluorescencia atómica*. Sartenejas: Tesis para la obtención de Lcda. Química.
- García, L. (2009). Contaminación por mercurio en humanos y peces. *Biotec*, 23(5), 50-69. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v28n2/v28n2a03.pdf>

- González, E., Marrugo, J., y Martínez, V. (2015). *El problema de Contaminación por mercurio. Nanotecnología: Retos y Posibilidades para Medición y Remediación*. Bogotá: Red Colombiana de Nanociencia y Nanotecnología.
- González, M. (2015). Metilmercurio. *Nutrición Hospitalaria*, <http://www.nutricionhospitalaria.com/pdf/8316.pdf>.
- Goyer, R. (2010). Toxic and essential metal interactions *Annu. Rev. Nutr*, 17, 37–50.
- Gracia, L., Marrugo, J., y Alvis, E. (2010). Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 118-124.
- Guinot, A. (2012). Longitud con efectos de la temperatura en la bioacumulación de metales pesados . *Chemosphere*, 34-56.
- Hernández, C. (2012). Estudio de la acumulación de metales pesados en los sedimentos de jaulas de peces de crianza y en puertos en la isla de Tenerife. *Ciencias y Tecnologías*, 4(1), 35-45.
- Hirose, K. (2006). Chemical speciation of trace metals in seawater. *Analytical Sciences*, 1055-1063.
- Houserova, P., Kuban, V., y Habarta, P. (2009). Determination of total mercury and mercury species in fish and aquatic ecosystems of Moravian rivers. *Veterinami Medicina*, 51(3), 101-110.
- Huang, Z. (2014). Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1), 248–252.
- Instituto Internacional de Eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes. (2007). *Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG*. México: IPEN.
- Jiménez, P., Aguirre, W., Laaz, E., Navarrete, R., Nugra, F., Rebolledo, E., . . . Valdiviezo, J. (2015). Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador. Esmeraldas: Imprenta Mariscal Cía. Ltda.
- Karak, T., Abollino, O., Bhattacharyya, P., Das, K., y Paul, K. (2011). *Fraccionamiento y especiación de arsénico en tres jardines de té perfiles de suelo y distribución de As en diferentes partes de la planta de t*. Lima: Cabino.
- Kerin, E., Gilmour, C., Roden, E., Suzuki, M., Coates, J., y Mason, R. (2006). Mercury methylation by dissimilatory iron-reducing bacteria. *Appl Environ Microbiology*, 72(12), 7919-7921.

- Kock, G. (2010). Lead (Pb) in Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) from oligotrophic alpine lakes: Gills versus digestive tract. *Water Air and Soil Pollution*, 102-130.
- Labat, R., y Pequignot, J. (2004). *Toxic action of copper on the gills of carp (Cyprinus carpio)*. *Ann Limno.*
- Lapo, B. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Scielo*, 13-15. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0717-65382016000200147
- Leganés, M. (2013). *ecologistas en acción*. Recuperado el (2017), de <http://www.ecologistasenaccion.org/article25804.html>
- Londoño, L. F. (2014). *Presencia de metales pesados en hatos lecheros de los municipios de San Pedro y Entreríos, Antioquia, Colombia*. Antioquia: Universidad de León.
- López, I., Sierra, M., Rodríguez, J., y Millán, R. (2010). *Estudio de la Absorción y Distribución del Mercurio en Nerium Oleander L. en la Ribera del Río Valdeazogues (Estación de Chillón - Almadén)*. Almadén: CIEMAT.
- López, S., y Ayala, F. (2013). *Contaminación y depuración de suelos*. Madrid, España: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Louma, S., y Rainbow, P. (2011). *Metal Contamination in Aquatic Environments; Science and Lateral Management*. California.
- Lozada, J. (2007). Determinación de la concentración de metales en *Cyprinus carpio*, Linnaeus 1785 (carpa común) de la Laguna de Metztlán, Hidalgo, México. *Ciencia y tecnología*, 11(5), 17-35.
- Manahan, S. (2005). *Environmental chemistry*. New York, Estados Unidos: CRC Press.
- Mancera, R., y Álvarez, L. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Mancilla, O., Ortega, H., Ramírez, C., Usganga, E., Ramos, R., y Reyes, A. (2012). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 28(1), 23-34.
- Marín, A. (2016). Ciencias de la tierra, Ecología y Ciencia Mediambiental. *Gayana*, 12(4), https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttextypid=S0717-65382016000200147.
- Marrugo, J., Navarro, A., y Guzmán, J. (2015). Total mercury concentrations in fish from Urrá reservoir (Sinú river, Colombia). Six years of monitoring. *MVZ Córdoba*, 20(3), 4754-4765.

- Martorell, J. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlántica andaluza afectados por Contaminación difusa. Tesis Doctoral*. Cádiz: Universidad de Cádiz.
- Maury-Brachet, Régine, Durrieu, Gilles, Dominique, Yannick, . . . Boudou. (2006). Mercury distribution in fish organ and food regimes: Significant relationship from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science Total Environment*, 262-270.
- Méndez, S., Lara, J., Moreno, G., y Ayala, A. (2007). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jaime_Lara-Borrero/publication/230888099_Estudio_preliminar_de_los_niveles_de_cadmio_en_arroz_frijoles_y_lentejas_distribuidos_en_supermercados_de_Bogotá_y_plazas_de_manizales/links/0fcfd505c9fb57923f000000/ESTUDIO-PRE
- Millán, R., Gamarra, R., Schmid, T., Sierra, M., Quejido, A., Sánchez, D., . . . Fernández, M. (2009). Mercury content in flora and soils for Almadén mining area (Spain). *Science of the Total Environment*, 386, 79-87.
- Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua Perú. (2011). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Lima: Ministerio de Agricultura Autoridad Nacional del Agua Perú.
- Ministerio de Salud de Perú. (2013). *Guía de práctica para el diagnóstico de la intoxicación por mercurio*. Lima: Ministerio de Salud.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Acuerdo Mundial para la reducción del mercurio*. Recuperado el (2018), de Ministerio del Ambiente: <http://www.ambiente.gob.ec/ecuador-aplica-fuertes-medidas-ante-emisiones-de-mercurio/>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2013). *Ecuador Plan cero Mercurio*. Quito: Acuerdo Ministerial No. 060, publicado en Registro Oficial Nro. 238.
- Moalla, S., Awadallah, R., Rashed, M., y Soltan, M. (1997). Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hidrobiología*, 364, 31-40.
- Molina, J. (2012). *Aequidens rivulatus*. *Acuario Adictos*, <https://acuarioadictos.com/Aequidens-rivulatus/>.
- Mosquera, D. (2016). *Redacción Médica*. Obtenido de <https://www.redaccionmedica.ec/secciones/salud-publica/ecuador-tiene-alta-contaminacion-de-mercurio-87503>
- Murgueito, E., Cumbal, L., Aguirre, V., y Chávez, C. (2015). *Researchgate*. doi:10.13140/RG.2.1.4859
- Nava, C., y Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 140–147.

- Noboa, A. (2016). *Cultivo Intenso de Andinoacara rivulatus (vieja azul) con Diferenciación en la Cantidad de Alimento de un Sistema Cerrado de Recirculación de Agua*. Guayaquil.
- Olivero, J. (2002). Exposición humana al mercurio en la cuenca del río San Jorge, Colombia . *Sci Total Environment* .
- Olivero, V., Caballero, G., y Marrugo, N. (2011). Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolívar, North of Colombia. *Biological Trace Elem Res*, 144, 118-132.
- OMS. (2014). Estadísticas Sanitarias Mundiales 2014, Cero Mercurio. OMS, 12-19. Obtenido de https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_contentyview=article&id=832:enero-19-20-21-2013&Itemid=972
- Ortega, G. (2015). Obtención de un hidrolizado de proteína de *Aequidens rivulatus* (Vieja azul), utilizando enzimas proteolíticas, Machala, 2014. *Tesis Ing. Alimentos - Universidad Técnica de Machala*, 20-25.
- Osores, F., Grández, A., y Fernández, J. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Médica Peruana*, 310-314. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000400016&lng=es&tylng=es
- Panichev, N., y Panicheva, S. (2015). Determination of total mercury in fish and sea products by direct thermal decomposition atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 31(5), 45-57.
- Parrales, M. (2013). Determinación de mercurio de tiburones *Sphyrna Sigaena*. *Ciencias de Mar*, 1-4. Obtenido de <http://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/564/1/ULEAM-BLGO-0019.pdf>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en aguas y sedimentos y organismos bioindicadores en el Estero Salado del Ecuador . *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Piedra, G. (2010). *Uniciencia*. Obtenido de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/7754/9167>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2002). *Productos químicos. Evaluación mundial sobre el Hg*. Ginebra: PNUMA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2005). *Evaluación mundial sobre el Mercurio*. Ginebra: PNUMA.
- Raimann, X. (2014). *scielo.conicyt.cl*. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872014000900012

- Ramos, P. (2009). Mercurio y pescado. *Ecologista*, <https://www.ecologistasenaccion.org/?p=17502>.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rodriguez, J. (2013). *Uniciencia*. Obtenido de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/7754/9167>
- Rojas, C. (2005). Contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro. *Biota*, 10(2), 34-56.
- Rosales, M. (2016). El mercurio contaminando aguas superficiales y subterráneas. *Biotecnology*, 90-70. Obtenido de <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/21HG.pdf>
- Rosas, H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobrega*. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ruíz, I. (2016). Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado. *Revista Pensamiento Actual.*, 16(3), 20-36.
- Sánchez, J. (2010). *Metodologías analíticas para determinación de metales tóxicos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. Obtenido de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PN_BV-2_6-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf
- Selin, N. (2010). Global biogeochemical cycling of mercury: a Review. *Annu Rev Environ resour*, 43-63.
- Serrano, L. (2007). *Ambiente Ecologico*. Recuperado el (2017), de http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/2002/085_09.2002/085_Investigacion_LuisBarreroSerrano.php3
- Serrano, M. (2003). *CFGS Química Ambiental. Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya*. Murcia: http://www.xtec.net/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d43016720-3_____Hg_inicio.html.
- UNEP, U. N. (2003). *Global Mercury Assessment. Presented at UNEP Governing Council*,. Obtenido de

https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11596/Brochure_Kyrgy.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Vera-Brito, N. (2007). *Alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de México*. México: Distrito Federal, ME.
- Viana, F. (2010). Metales pesados en peces de la costa de Montevideo. *Marine Biology*, 45-67.
- Vullo, D. (2011). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2, 93-104.
- Weinberg, J. (Mayo de 2014). *IPEN*. Obtenido de Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes
- Zambrano, M. (2011). *Contribución al conocimiento de especies de peces de agua dulce autóctonos factibles de desarrollo en ambiente controlado*. Tesis. Ing. Médico veterinario y zootecnista. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

ANEXOS

ANEXO 1**Cronología fotográfica del trabajo de campo****Foto 1.** Toma de datos de muestro**Foto 2.** Toma de puntos de monitoreo**Foto 3.** Punto medio del muestreo

ANEXO 2**Cronología fotográfica del trabajo de laboratorio****Foto 4. Pesado de la especie****Foto 5. Pesado de la especie****Foto 6. Pesado de la especie**