



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

CARRERA MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**NIVELES DE MERCURIO EN PECES *OREOCHROMIS
NILOTICUS* (TILAPIA) DEL EMBALSE LA ESPERANZA DEL
CANTÓN BOLÍVAR**

AUTORES:

FERNANDO ANDRÉS ÁVILA BRAVO

JOSÉ ROLANDO LOOR PÁRRAGA

TUTORA:

Q.F. ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ M.Sc.

CALCETA, JUNIO 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

Fernando Andrés Ávila Bravo y José Rolando Loor Párraga, declaramos 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 hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos 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.

.....
FERNANDO A. ÁVILA BRAVO

.....
JOSÉ R. LOOR PÁRRAGA

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Ana María Aveiga Ortiz, certifica haber tutelado la tesis **NIVELES DE MERCURIO EN PECES *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) DEL EMBALSE LA ESPERANZA DEL CANTÓN BOLÍVAR**, que ha sido desarrollada por Fernando Andrés Ávila Bravo y José Rolando Loor Párraga, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** 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, declaran que han **APROBADO** la tesis **NIVELES DE MERCURIO EN PECES *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) DEL EMBALSE LA ESPERANZA DEL CANTÓN BOLÍVAR**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Fernando Andrés Ávila Bravo y José Rolando Loo Párraga, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....

ING. LAURA MENDOZA CEDEÑO, M.Sc.

MIEMBRO

.....

ECO. ROBERTO ZAMBRANO FARÍAS, M.Sc.

MIEMBRO

.....

ING. FRANCISCO VELASQUEZ INTRIAGO, M.Sc.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios ante todo por permitirnos la oportunidad de vivir y con sus bendiciones haber logrado tanto en la vida y hacer de este sueño de ser profesionales una realidad.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por darnos la oportunidad de una educación superior, permitiéndonos forjar nuestros conocimientos profesionales día a día con esfuerzo y dedicación, por enseñarnos a ser personas con gran calidad humana, humildad y profesionalismo.

A nuestra tutora Q.F Ana María Aveiga Ortiz, por ser nuestra guía y ejemplo de superación, por el apoyo brindado de manera incondicional para el desarrollo de nuestra tesis, por ser parte fundamental de nuestros conocimientos universitarios, como persona y amiga, gracias totales porque sin Ud., no hubiésemos podido dar este paso.

A los miembros del tribunal Ing. Francisco Velásquez, Ing. Laura Mendoza y al Ec. Roberto Zambrano ya que sin su aprobación y tiempo dedicado a esta investigación nada de esto sería posible, agradecimiento infinito hacia los 3 miembros de este prestigioso tribunal.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y en los momentos difíciles que han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre Bacilia por ser la persona que ha acompañado durante todo el trayecto de mi vida estudiantil, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se lo debo a ella entre los que se incluye este.

A mi esposa Estefanía y mi hijo Eddy Andrés que siempre me han brindado su apoyo y que son pilar fundamental en este logro obtenido, ya que son parte de mi inspiración y ganas de salir adelante.

FERNANDO A. ÁVILA BRAVO

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y en los momentos difíciles que han enseñado a valorarlo cada día más.

A mis padres Vitalia y Rafael por ser las personas que me han dado su apoyo incondicional y sin medidas y sin duda este ser un logro más de los que pienso cumplir a nombre de ellos.

A mi querida hermana Amarilis que estuvo ahí en los momentos difíciles dándome ánimos para no desmayar jamás y llegar a cumplir la meta.

A mi esposa Estefanía y mi hija Rafaela que son mi mayor motivación en mi vida porque me dan ese calor de familia que solo ellos pueden darme.

JOSÉ R. LOOR PÁRRAGA

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
KEY WORD.....	xii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 HIPÓTESIS.....	4
CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	5
2.1 EL MERCURIO.....	5
2.2 METILMERCURIO.....	6
2.3 CARACTERÍSTICAS QUIMICAS DEL MERCURIO.....	7
2.4 CICLO DEL MERCURIO.....	8

2.5 TOXICIDAD EL MERCURIO EN LA VIDA HUMANA.....	9
2.6 DISTRIBUCIÓN DEL MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE.....	10
2.6.1. SEDIMENTOS Y SUELO.....	10
2.6.2. AIRE.....	10
2.6.3. ORGANISMOS ACUÁTICOS.....	10
2.7 EL AGUA.....	10
2.8 CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL MERCURIO.....	11
2.9 LA TILAPIA.....	12
2.10 DESCRIPCIÓN DE LA TILAPIA.....	13
2.11 ANATOMÍA DE LA TILAPIA.....	14
2.12 CARACTERÍSTICAS DE LA TILAPIA.....	14
2.13 HÁBITOS ALIMENTICIOS.....	16
2.14 FACTORES QUE AFECTAN EL CULTIVO DE LA TILAPIA.....	16
2.15 MORFOLOGÍA DE LA TILAPIA.....	17
2.15.1. MORFOLOGÍA EXTERNA.....	17
2.15.2. MORFOLOGÍA INTERNA.....	17
2.16 CARACTERÍSTICAS SEXUALES.....	18
2.17 DESARROLLO DE UN MÉTODO ANALÍTICO.....	19
2.18 ABSORCIÓN ATÓMICA CON VAPOR FRÍO.....	20
2.19 DESCRIPCIÓN DEL EMBALSE LA ESPERANZA.....	25
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	27
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	27
3.1.2 UBICACIÓN.....	27
3.2 PROCEDIMIENTO.....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. RESULTADOS.....	32

4.2. DISCUSIÓN.....	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
5.1 CONCLUSIONES.....	40
5.2 RECOMENDACIONES.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Tabla 4.1 Coordenadas de las estaciones de muestreo.....	31
Tabla 4.2. Longitud y peso de los peces.....	33
Tabla 4.3. Muestras de tilapia (músculo) determinación Hg.....	33
Tabla 4.4 Muestras de tilapia (hígado) determinación Hg.....	34
Tabla 4.5 Muestras de tilapia (branquias) determinación Hg.....	34
Tabla 4.6 Interrelación entre las características morfológicas.....	35
Gráfico 4.1 Relación entre la longitud y el nivel de Hg en el músculo.....	35
Gráfico 4.2 Relación entre la longitud y el nivel de Hg en el hígado.....	36
Gráfico 4.3 Relación entre la longitud y el nivel de Hg en branquias.....	36
Gráfico 4.4 Relación entre el peso y el nivel de Hg en el músculo.....	37
Gráfico 4.5 Relación entre el peso y el nivel de Hg en el hígado.....	37
Gráfico 4.6 Relación entre el peso y el nivel de Hg en branquias.....	38

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar los niveles de mercurio en peces *Oreochromis Niloticus* (tilapia) del embalse La Esperanza del cantón Bolívar provincia de Manabí. En esta investigación se establecieron cinco estaciones de muestreo, ubicados en la desembocadura del río Carrizal, Bejuco, Caña, Membrillo y un punto centro en el embalse, donde se tomaron muestras de peces en cada lugar georreferenciado, durante los meses de agosto y octubre. Esta investigación es de tipo cuantitativa no experimental y se realizaron análisis mediante el método de absorción atómica efectuados en el laboratorio medio ambiental de la ESPE (Escuela Superior Politécnica del Ejército), donde se obtuvieron promedios generales (10 especímenes) por concentración de mercurio de 0,283 ppm en el mes de agosto y 0,357 ppm en el mes de octubre; se establecieron características morfológicas que ayudo a deducir que a mayor peso y longitud del pez el nivel de mercurio aumenta.

Los resultados obtenidos en esta investigación no excedieron los límites permisibles de mercurio en peces según lo establece la Unión Europea (UE); lo que permitió concluir que existe concentración de mercurio en los peces *Oreochromis Niloticus* del embalse en un promedio global de 0,307 ppm, que no sobrepasa el límite permisible (0,5 ppm).

PALABRAS CLAVES

Contaminación por mercurio, características morfológicas.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to evaluate the levels of mercury in fish *Oreochromis Niloticus* (tilapia) of the reservoir La Esperanza in the Bolívar canton of Manabí. In this research, five sampling stations were established, located at the mouth of the Carrizal, Bejuco, Caña, Membrillo and a center point in the reservoir, where fish samples were taken in each georeferenced place, during the months of August and October. This research is of a non-experimental quantitative type and analyzes were carried out using the atomic absorption method carried out in the environmental laboratory of the ESPE (Polytechnical Superior School of The Army), where general averages (10 specimens) were obtained by mercury concentration of 0.283 ppm in the month of August and 0.357 ppm in the month of October; morphological characteristics were established that help to deduce that the higher weight and length of the fish the mercury level increases.

The results obtained in this investigation did not exceed the permissible limits of mercury in fish as established by the European Union (EU); This allowed us to conclude that there is mercury concentration in the *Oreochromis Niloticus* fish of the reservoir in a global average of 0.307 ppm, which does not exceed the permissible limit (0.5 ppm).

KEY WORD

Pollution by mercury, morphological characteristics

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del agua es una problemática que se da con mucha frecuencia en la actualidad proveniente de diferentes actividades, esto ocurre cuando los contaminantes son descargados directamente o indirectamente en el agua sin un adecuado tratamiento que remueva los componentes dañinos. La contaminación del agua afecta plantas y organismos que viven en estos cuerpos de agua, y en la mayoría de los casos afecta dañando no solamente a las especies individuales y las poblaciones, así como en las comunidades biológicas. El agua se ha contaminado mediante sustancias tóxicas como ácidos, solventes orgánicos, pinturas, metales y demás, derivados de actividades industriales, agrícolas, ganaderas, domésticas, dicha agua ya no es apta para el consumo (Koshland, 2014).

El mercurio es un contaminante tóxico muy conocido y peligroso que contamina los peces en todo el mundo. Se ha producido un aumento de 3 veces en el mercurio, desde la época preindustrial y un estudio reciente indica que la acumulación de mercurio en los océanos se correlaciona con la marea creciente de la contaminación por el mencionado metal. El mercurio no respeta las fronteras nacionales o regionales, 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 metil-mercurio, que se abre camino en la cadena alimentaria hasta llegar a los seres humanos (Leganés, 2013).

La preocupación ambiental por el mercurio está asociada principalmente con el metil-mercurio, el cual es el complejo mercurial orgánico más común. El metil-mercurio 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, 2007).

El embalse La Esperanza, del cantón Bolívar, provincia de Manabí, no es ajena a la problemática de degradación de los recursos naturales, principalmente referido al uso y manejo de los cuerpos de agua. Este problema es uno de los más relevantes que afecta ambiental, social y económicamente a la población en general.

La presencia de mercurio en el embalse estaría afectando a especies que se encuentran alojadas en este cuerpo de agua, generando un daño inminente, de tal manera que se vería disminuida la calidad de vida de las personas, pues se estaría causando un daño en la salud de la población de este sector, que consume peces que residen en esta área. Cabe recalcar que la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), menciona que el mercurio es uno de los diez productos químicos que ocasiona problemas en la salud pública; generando daños en el sistema nervioso, digestivo, lesiones en la piel, pulmones, riñones y en ciertos casos los ojos.

Ante lo expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuáles son los niveles de concentración de mercurio en los peces *Oreochromis Niloticus* (tilapia) en el embalse La Esperanza del cantón Bolívar, provincia de Manabí?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En el embalse La Esperanza del cantón Bolívar las actividades realizadas por la mano del hombre, tales como deforestación, ganadería, agricultura entre otras, contribuyen notablemente a la contaminación del agua por metales pesados.

Por tal razón para quienes se encuentran alojados cerca a esta área es sumamente importante el tema de la calidad de agua, tal y como lo menciona la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2009), puesto que de acuerdo al 'Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, se deber tener responsabilidad ética con las actuales generaciones sin malograr las futuras, sabiendo que es un principio fundamental para plasmar un nuevo sistema de desarrollo humano.

Todas estas actividades en el embalse y en sus cercanías, son aquellas que vulnerabilizan las fuentes de agua, por tal manera es de suma importancia llevar a cabo una evaluación de los niveles de contaminación por metales pesados siendo específico en este caso de mercurio (Hg), utilizando herramientas que permitan reconocer la situación real de esta zona; las mismas que puedan tener validez para plantear estrategias que hagan su aporte en la toma de decisiones, y brindar soluciones a corto, mediano y largo plazo, en lo concerniente al manejo adecuado de los recursos naturales del embalse La Esperanza y sus sitios más cercanos, siendo específicos respectivamente a la calidad de los cuerpos de agua superficiales y las especies que se encuentren dentro.

Llevar a cabo esta investigación, contribuirá a asegurar el acceso y suministro de peces con los estándares mínimos requeridos para su consumo que garanticen el bienestar de los pobladores y la sostenibilidad en la demanda actual y futura.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los niveles de mercurio en peces *Oreochromis Niloticus* (tilapia) del embalse La Esperanza del cantón Bolívar.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las características morfológicas de la especie en estudio.
- Cuantificar los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias del pez, *Oreochromis Niloticus* (tilapia) del embalse La Esperanza.
- Interrelacionar los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias con respecto a las características morfológicas de los peces.

1.4 HIPÓTESIS

Los niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias aumentan en función del incremento de la longitud y peso del pez *Oreochromis Niloticus* (tilapia) del embalse La Esperanza.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. EL MERCURIO

El mercurio es un elemento natural cuyo símbolo químico es Hg. Esta abreviatura viene de la palabra griega hydrargyrum, que significa plata líquida. En su forma pura, el mercurio es un metal blanco-plateado, líquido a temperatura y presión estándar. En diferentes contextos, al mercurio se le llama con frecuencia azogue, mercurio metálico o mercurio líquido. Comúnmente, sin embargo, el mercurio puro se denomina mercurio elemental. Debido a que el mercurio elemental tiene una alta tensión superficial, forma gotas pequeñas, compactas y esféricas cuando es liberado en el medio ambiente. Aunque las gotas mismas son estables, la alta presión del vapor de mercurio, comparado con otros metales, hace que el mercurio se evapore (Weinberg, 2010).

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 (Raimann *et al.*, 2014).

El mercurio está presente en la mayoría de recursos naturales, incluyendo suelos, carbón, minerales y se presenta en tres formas tales como: Mercurio elemental, sal inorgánica de mercurio y mercurio orgánico (Raimann *et al.*, 2014).

El mercurio orgánico es el de mayor importancia para la salud; sus compuestos incluyen metilmercurio, etilmercurio y fenilmercurio. Todos éstos han sido producidos primariamente como biocidas y pesticidas. El más conocido es el metilmercurio (MeHg), ya que es el compuesto que se encuentra en el ambiente, se deposita en el agua y se acumula en organismos (bioacumulación), concentrándose en las cadenas alimentarias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos) siendo luego ingerido por las personas a través de los

productos del mar. La ingesta de 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 (Raimann *et al.*, 2014).

2.2. 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, 2010).

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 absorbe 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 (Weinberg, 2010).

Según el Instituto Nacional de la Salud (INS, 2015) la presencia de mercurio (Hg) en los ecosistemas acuáticos representa un riesgo para la salud de la población por su facilidad para biomagnificarse en los peces. La transformación de Hg inorgánico a orgánico como metilmercurio (MeHg) principalmente es el primer paso en el proceso de bioacumulación acuática. El MeHg formado entra en la cadena alimentaria de las especies depredadoras en las que se acumula;

a mayor peso y más prolongada la vida del organismo, la cantidad acumulada puede aumentar. El Hg aportado al ciclo anterior por las actividades del hombre (fuentes antropogénicas) es mayor que por causas naturales, y representa un elevado riesgo de toxicidad en áreas geográficas donde se desarrollan las actividades de emisión.

2.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL MERCURIO

El Hg es uno de los contaminantes que más preocupa a nivel mundial por su persistencia en el ambiente y transferencia en las cadenas alimentarias hasta los seres humanos. En su forma inorgánica existe en la naturaleza en tres estados de oxidación: metálico (Hg^0), mercurioso (Hg^+) y mercúrico (Hg^{2+}); las formas: Hg^+ y Hg^{2+} , pueden formar numerosos compuestos tanto orgánicos como inorgánicos (INS, 2015).

La mayor parte del Hg presente en el ambiente (exceptuando la atmósfera) se encuentra en forma de sales mercúricas inorgánicas y compuestos orgánicos de Hg. Los compuestos de Hg más comunes en el ambiente son: a. Las especies inorgánicas de Hg^{2+} : cloruro de Hg (HgCl_2), hidróxido de Hg ($\text{Hg}(\text{OH})_2$) y sulfuro de Hg (HgS); b. Los compuestos orgánicos de MeHg: cloruro de MeHg ($\text{CH}_3 \text{HgCl}$) e hidróxido de MeHg ($\text{CH}_3 \text{HgOH}$); c. En menores proporciones, otros organomercuriales como diMeHg ($\text{CH}_3 \text{HgCH}_3$) o fenilHg ($\text{C}_6 \text{H}_5 \text{Hg}^+$). Los compuestos de Hg suelen permanecer en la fase acuosa como moléculas no disociadas, dando lugar a valores bajos de solubilidad (INS, 2015).

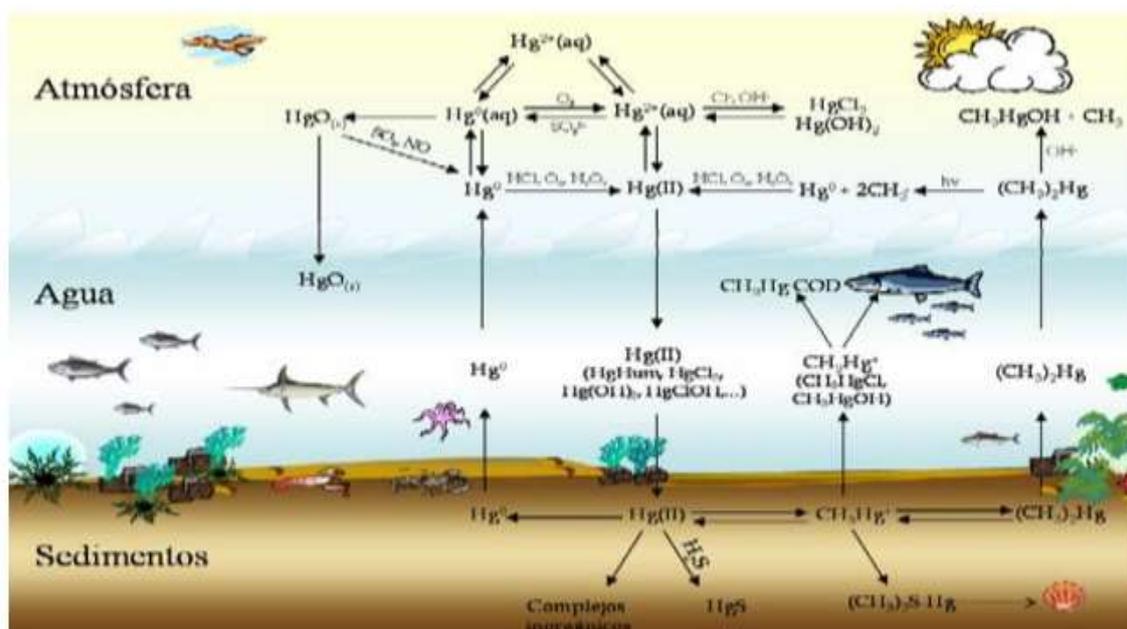
Las especies inorgánicas de Hg^{2+} varían en su solubilidad, por ejemplo el cloruro de mercurio HgCl_2 es muy soluble en agua, mientras que el HgS es prácticamente inerte debido a la afinidad del Hg por el Azufre. Por su parte, la mayoría de organomercuriales son insolubles y no reaccionan con ácidos débiles o bases; sin embargo, el $\text{CH}_3 \text{HgOH}$ es muy soluble debido a la gran capacidad del grupo hidroxilo para formar puentes de hidrógeno (INS, 2015).

2.4 CICLO DEL MERCURIO

El mercurio terrestre tiene un origen magmático, por lo cual algunos investigadores afirman que los yacimientos más importantes, como el de Almadén, tienen procedencia del manto superior. Este elemento puede considerarse como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas. Una vez que el mercurio es liberado al medio sufre diversas transformaciones que dan como resultado una alta variedad de compuestos (Altahona y Movilla, 2016).

Primero pasa al aire de forma natural por medio de las emisiones volcánicas, termalicas o por emisiones industriales donde puede permanecer días o años, lo que le permite ser transportado miles de kilómetros, luego pasa al suelo por lluvias o precipitaciones secas y sufre una fuerte adsorción por la materia orgánica y las arcillas, y a pesar de que en este medio su movilidad es muy limitada, puede llegar a acuíferos, lagos y al mar a causa de la erosión de los suelos contaminados, o en su defecto vuelve al aire, asociado a partículas o por simple volatilización, tal como se esquematiza en la Ilustración 1 (Altahona y Movilla, 2016).

Ciclo biogeoquímico del Mercurio.



Fuente: Cabañero, 2005

También puede llegar a las aguas subterráneas por infiltraciones de aguas industriales o infiltración de vertederos, siendo redistribuido por la extracción de agua ya sea para su uso como agua potable o para riego (Altahona y Movilla, 2016).

2.5. TOXICIDAD DEL MERCURIO EN LA VIDA HUMANA

El mercurio y sus compuestos son extremadamente tóxicos para los seres humanos, los ecosistemas y la vida silvestre. La contaminación por mercurio, que empezó considerándose un problema local, es percibida ahora como un problema mundial, difuso y crónico (Hendry, A'Hern, y Cole, 1993).

El grupo de trabajo de Evaluación del Mercurio Global del Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP, 2003) estableció en su evaluación realizada en el año 2002 que existe suficiente evidencia de los impactos globales del mercurio como para poner en marcha acciones internacionales con el fin de reducir el riesgo que supone para el ser humano y para el propio medio ambiente la emisión de mercurio a éste.

El mercurio disminuye la actividad microbiológica en el suelo y es una sustancia peligrosa prioritaria según la Directiva Marco del Agua. Los factores que afectan a la toxicidad del mercurio son la dosis, el tiempo y la vía de exposición, la forma química del mercurio y las características específicas de la persona edad, estado de salud, etc, (Europea, 2005).

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, es rápidamente absorbido por los pulmones, provocando 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 M. , 2003).

2.6. DISTRIBUCIÓN DEL MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE

2.6.1. SEDIMENTOS Y SUELOS

En los sedimentos y suelos, es de gran importancia la acción de la microbiota, que actúa metilando el mercurio, dando lugar a compuestos orgánicos de mercurio, incrementando así su toxicidad (Paz *et al.*, 2017).

2.6.2. AIRE

La concentración de mercurio en la atmósfera, es baja. No obstante, se han encontrado valores mayores en zonas cercanas volcanes activos, siendo de más de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones son también mayores en zonas cercanas a minas de mercurio (Paz *et al.*, 2017).

2.6.3. ORGANISMOS ACUÁTICOS

El contenido de mercurio en animales y plantas puede alcanzar niveles elevados en áreas industrializadas, debido a la capacidad de acumulación del mercurio y a la acción de las bacterias que se encuentran en los lodos marinos, que transforma el mercurio inorgánico en metilmercurio, siendo liberado al agua. Una vez liberado, se deposita en algas y es ingerido por plancton y peces de tamaño pequeño que, a su vez, serán depredados por peces de mayor tamaño, acumulándose el contenido. Los factores que influyen en la acumulación en organismos marinos son la edad, tamaño del ejemplar, especie, sexo, localización geográfica, variaciones estacionales, etc (Paz *et al.*, 2017).

2.7. 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 riego (Altahona y Movilla, 2016).

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 (Altahona y Movilla, 2016).

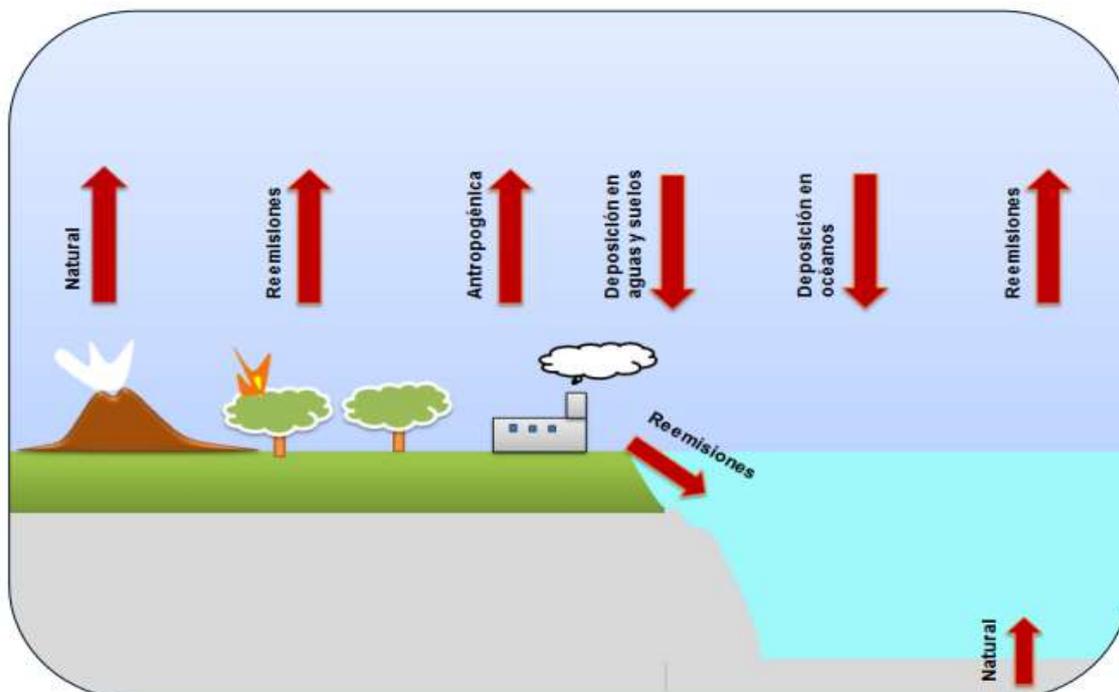
Dicha metilación la realizan un importante número de bacterias, principalmente del grupo de las reductoras de sulfato, en condiciones anóxicas de los fondos y sedimentos marinos (Altahona y Movilla, 2016).

2.8. CICLO BIOGEOQUÍMICO DEL MERCURIO

El mercurio en sus diferentes especies tiene un flujo continuo en el medio ambiente, este se distribuye en el agua, aire, suelos, animales y a través de todos estos procesos se da diferentes tipos de reacciones químicas como reacciones de óxido – reducción, que ocurren en la atmósfera por medio de la reacción con ozono para formar iones inorgánicos o en ambientes acuíferos donde ocurre la reducción del mercurio inorgánico al mercurio metálico, por medio de microorganismos, como las cianobacterias. Otro tipo de reacciones que pueden ocurrir en el ciclo biogeoquímico son de metilación – demetilación y los ejemplos más importantes que existen son la formación del monometilmercurio y dimetilmercurio en aguas y suelos, por la transformación bacteriana in situ de las especies inorgánicas a especies orgánicas (López, 2016).

La movilidad de estas especies es alta y en la figura que está a continuación se ilustra las diferentes formas en las que se produce este contaminante. De forma natural, como por ejemplo por la erupción de volcanes terrestres y marinos, los cuales representan aproximadamente el 10% de mercurio que se emiten a la atmosfera. Se conoce que el aporte de forma antropogénico por procesos, como la minería artesanal y a pequeña escala para la extracción de oro, libera aproximadamente el 30% de las emisiones anuales de este contaminante a nivel mundial hacia la atmosfera (López, 2016).

Ciclo Biogeoquímico del Mercurio



Fuente: López, 2016

Otras fuentes antropogénicas de liberación de mercurio y que llegan a la atmósfera como mercurio elemental en forma de vapor, para posteriormente reaccionar con el ozono y así seguir con el ciclo biogeoquímico del mercurio son las impurezas presentes en los combustibles, la producción de metales férricos y no férricos, refinado del petróleo crudo, producción de soda cáustica y cloro, tratamiento de residuos de productos que contenían mercurio (baterías, dispositivos electrónicos, pesticidas, etc.) y la producción de cemento, la cual se realiza por quema de combustibles fósiles (López, 2016).

2.9. LA TILAPIA

Según Wolhfarth *et al.* (1990) citado por Basantes (2015) la tilapia es un pez teleosteo del orden pisciforme, perteneciente a la familia *cichlidae*, originario de África, habita en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento. Otra característica por la que es fácil su cultivo es que viven tanto en aguas dulces como salobres e incluso pueden acostumbrarse a las aguas poco oxigenadas. La tilapia es un pez de buen sabor y rápido crecimiento, se puede cultivar en

estanques o en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno, es capaz de utilizar la potencialidad alimenticia de los estanques y puede ser manipulada genéticamente.

Según Bautista *et al.* (2004) citado por Basantes *et al.* (2015) estos peces viven en aguas cálidas y su óptimo desarrollo se logra en temperaturas superiores a los 20°C la temperatura crítica inferior esta alrededor de los 12 y 13 °C, señalaron que los peces de este género son nativos de África, encontrándose ahora distribuidos en muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo. Fueron introducidos a México en 1964, siendo especies eurihalinas (5 a 30 ppm) y euritéricos (12 a 42 °C).

Según Quiñonez Basantes (2008) citado por Basantes (2015) especifica que entre todas las especies pertenecientes al denominador común de “tilapia” (género *Tilapia* / *Oreochromis*), la “tilapia del Nilo o tilapia nilotica” es la de mayor aceptación y producción a nivel mundial, junto al híbrido de “tilapia roja”. Por lo tanto el género *Oreochromis* es el que se considera de mayor importancia dentro de los cultivos comerciales existentes.

Según Poot *et al.* (2009) citado por Basantes (2015) indican que para el cultivo de tilapias se han empleado diversos alimentos, tales como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, semillas oleaginosas y cereales, todos ellos empleados en forma suplementaria. La base de la alimentación de tilapia la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico es de un 55% (peso seco) aproximadamente.

2.10. DESCRIPCIÓN DE LA TILAPIA

La tilapia es una especie originaria de África y pertenece a la familia de los cíclidos. Inicialmente fue cultivada en Kenia en la década del 20 del siglo pasado, y luego se expandió hacia Asia y América después de la segunda guerra mundial. Actualmente existen en el mundo cerca de 77 tipos de especies de tilapias y alrededor de 100 híbridos, las cuales han sido agrupadas en cuatro clases según sus hábitos reproductivos: “Tilapia Smith” (debido al

nombre del investigador que la descubrió), "Sarotherodom", "Danakilia" y "Oreochromis" siendo esta última la de mayor producción en el Ecuador y en el mundo (Landin, 2015).

2.11. ANATOMÍA DE LA TILAPIA

La tilapia en cada lado de la cabeza muestra un orificio nasal que sirven como entrada y salida de la cavidad nasal. La parte del cuerpo es apretado y discoidal, muy poco alargado. Tiene una boca ancha protráctil con labios gruesos, dispone de mandíbulas con dientes cónicos y en algunas ocasiones ásperos. Su traslado lo hace a través de aletas pares que son pectorales y las 35 ventrales e impares compuestas por aletas dorsal, caudal y anal. La parte anterior de la aleta dorsal y anal tiene varias espinas y es corta, la parte terminal dispone de radios suaves y son en forma de cresta. En cuanto a la aleta caudal es trunca, redonda y raramente cortada similar a todos los peces, igualmente sirve durante su traslado para mantener el equilibrio de su cuerpo y más aún al lanzarse en el agua (Landin, 2015).

Anatomía: Existen partes externas e internas de la tilapia. Las tilapias machos reproductores tienen una coloración azul brillante en la cabeza, extendiéndose al cuerpo en un azul gris pálido metálico. Presenta una coloración rojiza muy tenue en las aletas dorsal y caudal, se caracterizan por un peso máximo hasta 700 gr de 7 meses de edad. Es el caso similar en las hembras se diferencian de los machos por el peso de 450 gramos dependiendo de la forma como son alimentados, el proceso de producción de huevos dirige el gasto de energía que no les permite engrosar (Landin, 2015).

2.12. CARACTERÍSTICAS DE LA TILAPIA

Basantes (2015) menciona que la Tilapia en comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades, además de contar con algunos atributos para el mercado, como: carne blanca de buena calidad,

buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial.

Según Alceste (2002) citado por Basantes (2015) las extraordinarias cualidades de las tilapias, como crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades poblacionales, adaptación al cautiverio y a una amplia gama de alimentos, resistentes a enfermedades, su carne de color blanca de calidad y amplia aceptación, han despertado gran interés comercial en la acuicultura mundial. Además, se realizan algunas investigaciones de las propiedades que poseen el colágeno de las escamas y tienen bajas cantidades de grasa, estas cualidades se están aplicando para las terapias de regeneración de huesos. Son peces de agua cálidas, que viven tanto en agua dulce como salada e incluso pueden acostumbrarse a aguas poco oxigenadas. Se encuentran distribuidos como especie exótica en Sur América, América Central, Sur del Caribe, Sur Norteamérica y el Sur Este Asiático.

Es considerado hace tiempo como un pez de bajo valor comercial, hoy se consume a bajo precio y sus perspectivas han aumentado significativamente. Las especies de este género presentes en nuestro país, han tenido una excelente adaptación a las aguas intercontinentales, específicamente en las presas de reciente construcción. Por este motivo han sido distribuidas ampliamente en todo el territorio nacional, siendo *Oreochromis aureus* la especie que sostiene en su mayor parte las pesquerías de aguas interiores. Su crecimiento es longitudinal. Esto es para todas las etapas de su desarrollo a partir del alevín. El crecimiento también va a depender de varios factores como son: temperatura, densidad y tipo de alimentación principalmente. La mayor tasa de crecimiento la presentan los machos.

Según Arrendondo y Guzmán (2009) citado por Basantes (2015) la tilapia, por su capacidad de adaptación, puede vivir en condiciones ambientales adversas, puesto que soporta una concentración muy baja de oxígeno disuelto. Esto se debe principalmente a que posee la cualidad de saturar su sangre de oxígeno y de reducir su consumo cuando la concentración de éste en el medio es inferior

a los 3 mg/l. Se dice que puede cambiar su metabolismo a aeróbico cuando ésta concentración de oxígeno disminuye.

2.13. HÁBITOS ALIMENTICIOS

El género *Oreochromis* se clasifica como omnívoro, por presentar mayor diversidad en los alimentos que ingiere, variando desde vegetación macroscópica hasta algas unicelulares y bacterias, tendiendo hacia el consumo de zooplancton. Las tilapias son peces provistos de branqui-espinas con los cuales los peces pueden filtrar el agua para obtener su alimentación consistiendo en algas y otros organismos acuáticos microscópicos. Los alimentos ingeridos pasan a la faringe donde son mecánicamente desintegrados por los dientes faríngeos. Esto ayuda en el proceso de absorción en el intestino, el cual mide de 7 a 10 veces más que la longitud del cuerpo del pez. Una característica de la mayoría de las tilapias es que aceptan fácilmente los alimentos suministrados artificialmente. Para el cultivo se han empleado diversos alimentos, tales como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, semillas oleaginosas y cereales, todos ellos empleados en forma suplementaria. La base de la alimentación de la tilapia la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico es de un 55% (peso seco) aproximadamente (Saavedra, 2006).

2.14. FACTORES QUE AFECTAN EL CULTIVO DE TILAPIA

Según Saavedra (2006) citado por Chumbi (2015) la calidad del agua está dada por sus propiedades físicas y químicas entre las más importantes están: Oxígeno, temperatura, ph y transparencia

Estas propiedades influyen directamente en los aspectos productivos y reproductivos de los peces, por lo que los parámetros del agua deben mantenerse dentro del rango óptimo para el desarrollo de la tilapia.

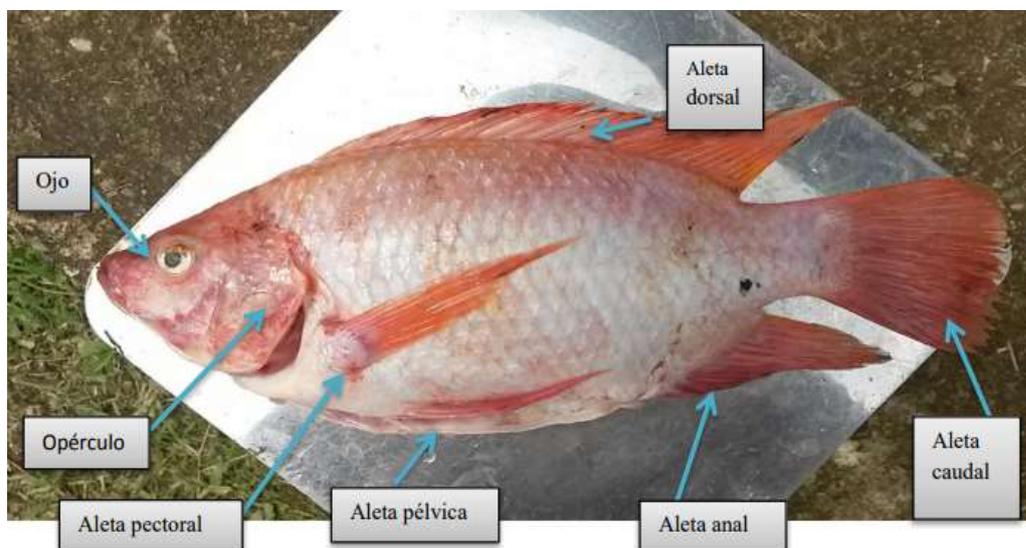
2.15 MORFOLOGÍA DE LA TILAPIA

2.15.1. MORFOLOGÍA EXTERNA

Las tilapias presentan dos orificios nasales en la cabeza que sirve únicamente para oler no para respirar, los cuerpos generalmente semialargados. Disponen de una boca ancha, las mandíbulas presentan dientes cónicos los mismos le permiten triturar los alimentos de forma rápida (Calderón, 2016).

La morfología externa se puede ver en la siguiente imagen, en la cual se observan las aletas pectorales, dorsal, caudal y anal que les permite la locomoción en el agua (Calderón, 2016).

Morfología externa tilapia



Fuente: Rodríguez, 2010

2.15.2. MORFOLOGÍA INTERNA

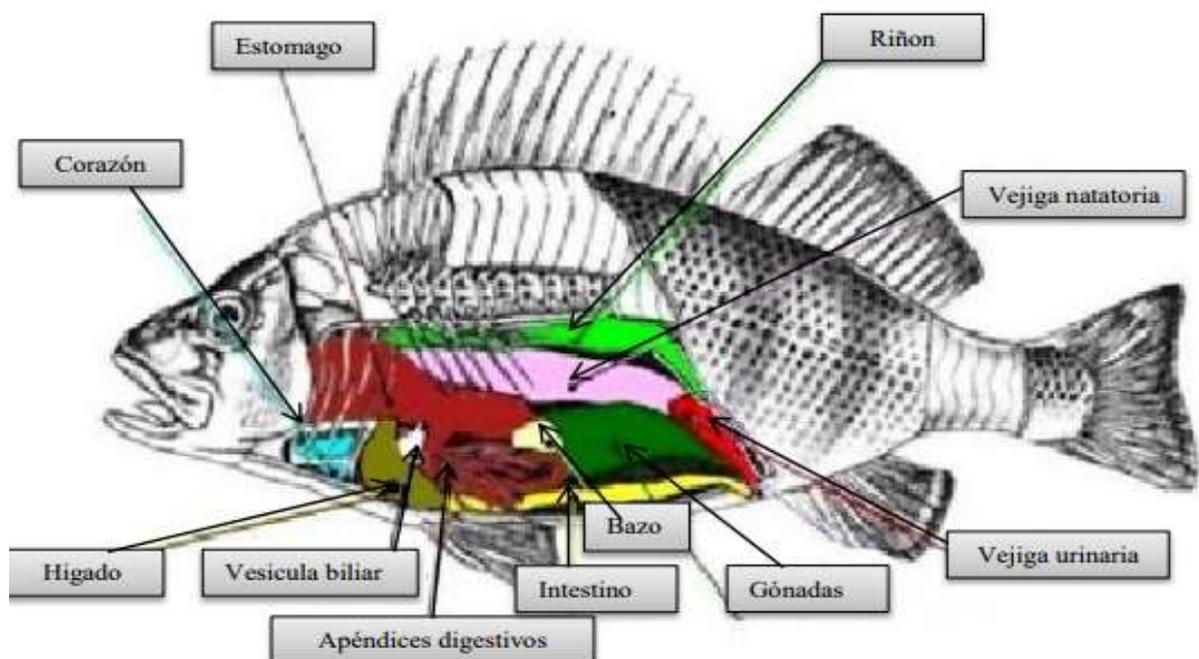
Su morfología está modificada para ofrecer una elevada adaptabilidad, el complejo mandibular es utilizado para coleccionar diferentes tipos de alimentos, también dispone brahuespinas con las cuales pueden filtrar el agua para obtener alimento como plantas y animales microscópicos (Calderón, 2016).

Posee dientes faríngeos para fragmentar los alimentos, pasa por dos tipos de esófagos el corto donde el alimento no sufre ningún cambio químico, y el largo donde se produce una regulación osmótica posteriormente llega el estómago (Calderón, 2016).

Como se puede observar en la figura que se muestra a continuación, el intestino mide de 7 a 10 veces más que su cuerpo, posee un hígado en forma alargada y una vesícula biliar de coloración verdosa, la cual permite el desdoblamiento de los alimentos. Otra glándula importante es el páncreas y lucen como pequeña bolsa redonda, éste produce enzimas para el desdoblamiento de los alimentos (Calderón, 2016).

El sistema circulatorio está regido por el corazón que se encuentra en la base de la garganta. Poseen la llamada vejiga natatoria presentada como una bolsa de aire que sirve para flotar a su disposición. El riñón cumple una función de filtro para eliminación de amoniaco, úrea, ácido úrico y permite la osmoregulación que es la regulación del equilibrio de agua (Calderón, 2016).

Morfología interna tilapia



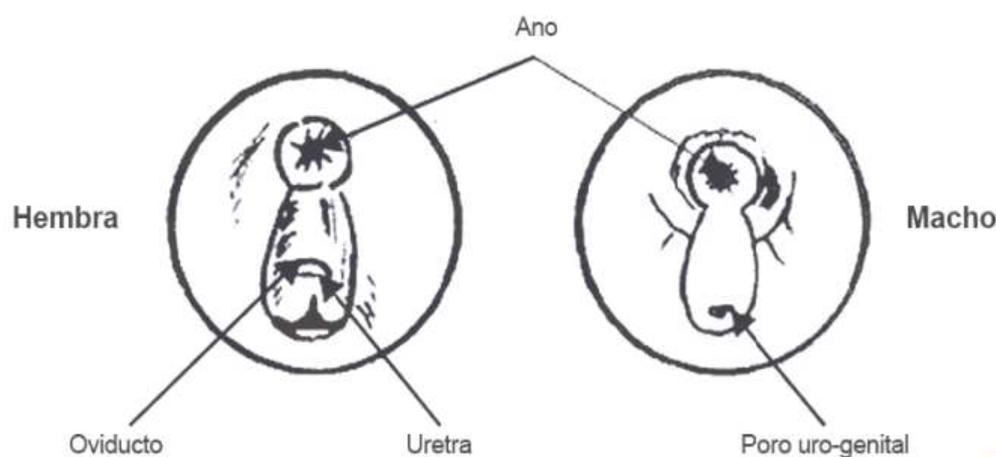
Fuente: Rodríguez, 2010

2.16. CARACTERES SEXUALES

La diferenciación externa de los sexos se basa en que el macho presenta dos orificios bajo el vientre: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario. El ano está siempre bien visible; es un agujero redondo. El orificio urogenital del macho es un pequeño

punto. En algunas especies la papila genital está bien desarrollada y dividida en largos filamentos blanquecinos, que durante el período de reproducción pueden alcanzar varios centímetros. El orificio urinario de la hembra es microscópico, apenas visible a simple vista, mientras que el poro genital se encuentra en una hendidura perpendicular al eje del cuerpo (Pérez y Sáenz, 2015).

Papilas genitales en tilapias



Fuente: Pérez, 2015

2.17 DESARROLLO DE UN MÉTODO ANALÍTICO

Las emisiones atmosféricas agregadas por actividades humanas (antropogénicas), han acelerado el ciclo del mercurio encontrándose cada vez más acumulación de este compuesto, principalmente en su forma elemental, es decir, en fase de vapor Hg_0 (90%). Por esto la determinación de la cantidad de mercurio elemental es un punto muy importante y el desarrollo de nuevos métodos analíticos es una preocupación constante de los investigadores, para lograr encontrar una técnica confiable, precisa, sencilla y versátil (López, 2016).

Las técnicas más utilizadas a nivel mundial para la determinación de mercurio son las técnicas atómicas; como la espectroscopía de fluorescencia atómica con vapor frío (CVAFS), el cual consiste en reducir el mercurio a mercurio elemental con reductores tales como cloruro de estaño (II) o borohidruro sódico

luego se utiliza un gas de arrastre inerte para así transportarlo al detector y medir la señal de fluorescencia a una longitud de onda de 253,7 nm. En la espectroscopía de absorción atómica con vapor frío (CVAAS), no se necesita de atomización de las muestras, pero maneja el mismo fundamento teórico que la espectroscopía de fluorescencia atómica (CV-AFS) y se constituye en un análisis sencillo, económico y fiable para la determinación de mercurio, aunque el primero es más utilizado por su alto rango de linealidad, es decir se puede leer concentraciones más altas sin tener que realizar dilución de la muestra (López, 2016).

El plasma acoplado por inducción unido a un espectrómetro de masas (ICP-MS), es otra técnica muy utilizada, la cual consiste en tres tubos de cuarzo por donde fluye argón; la ionización del argón interactúa con el campo magnético y esto hace que los electrones y los iones se muevan y puedan ser cuantificados. Una técnica muy novedosa es la espectrometría de masas con dilución isotópica (IDMS), la cual es utilizada para analizar mercurio orgánico y tiene como ventaja la minimización de la incertidumbre. Técnicas más actuales que utilizan analizadores portables para realizar también análisis in situ, tales como el Lumex RA 915+ que emplea la técnica de espectrometría de absorción atómica diferencial, que se implementa utilizando el efecto Zeeman (López, 2016).

2.18. ABSORCIÓN ATÓMICA CON VAPOR FRÍO (CV-AAS)

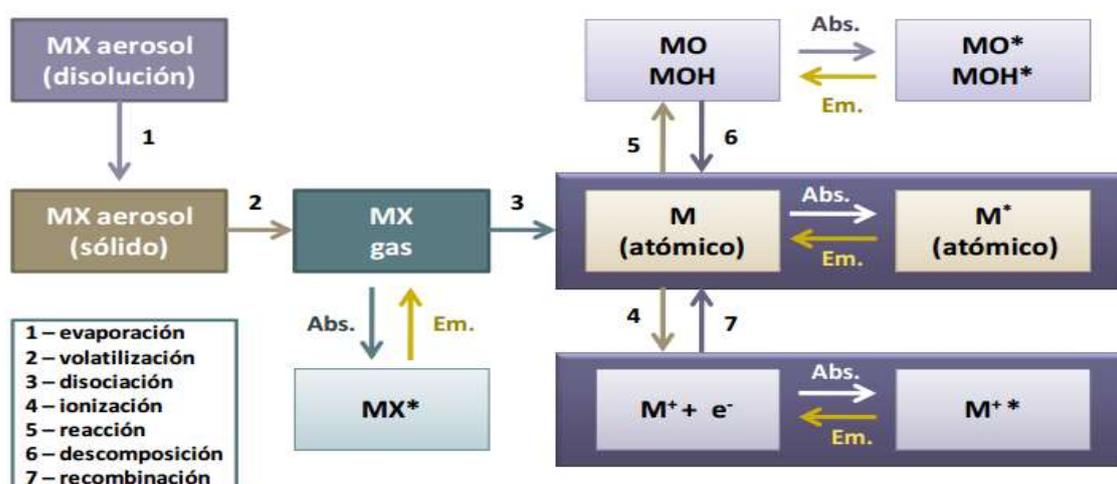
El método más utilizado para la determinación del mercurio en cualquier medio ha sido la espectroscopia de absorción atómica (AAS) con la técnica del vapor frío. Esta técnica permite la determinación directa con la única condición de que el mercurio contenido en las muestras líquidas, normalmente en forma iónica como Hg^{2+} , sea reducido al estado metálico Hg^0 . 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 Hg^{2+} , ya que esta es la única especie capaz de generar el vapor de mercurio atómico (Ruiz, 2016).

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 (Ruiz, 2016).

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).

La espectroscopia de absorción atómica (AAS) y de emisión atómica de llama (AES), aún denominada como fotometría de llama, son dos técnicas con múltiples aplicaciones, que permiten determinar un amplio número de metales y no metales en prácticamente todo tipo de muestras, considerando que, para ciertos elementos, pueden alcanzar concentraciones inferiores a los $\mu\text{g L}^{-1}$ (Jiménez, 2009).

Evolución de un aerosol en una llama



Fuente: Ruidera, 2009

Como a temperatura ambiente el mercurio se encuentra en forma de vapor monoatómico su atomización es más simple que la de otros elementos. Por tanto, para su determinación basta con reducir el mercurio inorgánico a mercurio elemental utilizando un reductor, como SnCl_2 o NaBH_4 , para posteriormente a través de un gas inerte arrastrarlo hasta el sistema de medida. Este método conocido como de vapor frío o “cold vapour” (CV) es el método de análisis de mercurio más extendido ya que no hay pérdidas en la introducción de la muestra, lo que podría ocurrir al utilizar muestras nebulizadas. Tras la generación del vapor frío la detección tiene lugar por absorción atómica utilizando una lámpara de cátodo hueco de mercurio y midiendo a una longitud de onda de 253,7 nm. Por tanto, esta técnica se denomina CV-AAS. Una variante de esta técnica, que también permite el análisis de muestras líquidas o sólidas con una elevada sensibilidad, sería la espectroscopia de absorción atómica con vaporización electrotérmica (ETV-AAS) en la que se trabaja sin llama y la atomización tiene lugar en un tubo o cubeta de grafito calentado eléctricamente (Jiménez, 2009).

El empleo de otras fuentes diferentes a la llama como las de arco y chispa eléctricas, pero sobre todo, el plasma han mejorado considerablemente las posibilidades analíticas de la espectrometría de emisión y han ampliado su campo de aplicación, especialmente para la determinación de elementos, como el mercurio, que se encuentran en la parte central de la tabla periódica y poseen espectros de emisión muy ricos en líneas (Jiménez, 2009).

El plasma es una mezcla gaseosa conductora de la electricidad que contiene una concentración significativa de cationes y electrones. En el plasma de argón que se emplea en los análisis de emisión, los iones argón y los electrones son las principales especies conductoras. Así, estos iones, una vez formados en el plasma, son capaces de absorber suficiente potencia de una fuente externa, como para mantener un nivel de temperatura en el que la ionización adicional sustenta el plasma indefinidamente (Jiménez, 2009).

Las fuentes de plasma ofrecen claras ventajas operacionales sobre otras fuentes de emisión como la llama, el arco o la chispa porque, al poder alcanzar

temperaturas muy superiores, tienen capacidad para atomizar e ionizar la mayoría de los elementos, incluido el mercurio. Además las muestras líquidas y gaseosas son introducidas y tratadas con facilidad por el plasma, lo que permite elevados valores de exactitud, sensibilidad y precisión en los análisis para numerosos elementos.

Pueden utilizarse tres tipos de Introducción 49 plasma como fuentes de emisión: plasma de corriente continua (DCP), plasma acoplado inductivamente (ICP) y plasma inducido por microondas (MIP) (92). De estas tres fuentes, la de radiofrecuencias o de plasma acoplado inductivamente (ICP) es la que ofrece mayores ventajas en relación con la sensibilidad y la ausencia de interferencias. Esta fuente consiste en tres tubos concéntricos de cuarzo a través de los cuales fluye una corriente de argón. Rodeando la parte superior del tubo de mayor diámetro (aproximadamente 2,5 cm) se encuentra una bobina de inducción refrigerada por agua, alimentada por un generador de radiofrecuencias.

La ionización del argón que fluye se inicia por medio de una chispa que proviene de una bobina Tesla. Los iones resultantes y sus electrones asociados interactúan entonces con el campo magnético oscilante que se produce por la bobina de inducción. Esta interacción hace que los iones y los electrones se muevan en trayectorias anulares cerradas (Jiménez, 2009).

Típica fuente de plasma acoplado inductivamente



Fuente: Ruidera, 2009

El método más utilizado para el análisis de mercurio en agua y pescados es el de absorción atómica-vapor frío que permite realizar análisis de mercurio con límites de detección de 1 ppb (Rivera y Valencia, 2013).

La espectrofotometría de absorción atómica por llama directa (FAA), es una técnica analítica que permite detección y la cuantificación de metales en solución. Esta técnica está indicada para determinar elementos alcalinos, alcalinotérreos y metales pesados presentes en cualquier tipo de muestra susceptible de ser disuelta (Rivera y Valencia, 2013).

La espectrofotometría de absorción atómica está fundamentada en la capacidad que tienen los elementos, en su estado atómico basal, de absorber radiación electromagnética a longitudes de onda específicas para cada elemento. La cantidad de energía absorbida es directamente proporcional a la concentración de los átomos del metal analizado, de acuerdo con la Ley de Lambert-Beer. Los límites de detección logrados son del orden de ppm (partes por millón) (Rivera y Valencia, 2013).

En esta técnica, los metales disueltos son llevados a su forma atómica elemental mediante calentamiento por una llama generada por una mezcla de gases combustibles. Las mezclas más empleadas son: aire-acetileno y óxido nitrosoacetileno. Las temperaturas de la llama van de 1900 °C a 2800 °C (Rivera y Valencia, 2013).

Los átomos en forma de nube gaseosa, son irradiados por un haz de luz de una longitud de onda específica, de acuerdo con el metal analizado; esto se logra mediante el empleo de lámparas con cátodo del metal de interés o con lámparas de descarga sin electrodo. Los átomos absorben una fracción de la radiación proveniente de la lámpara y la fracción restante es captada por un fotodetector y un dispositivo transductor, que la convierten en una señal eléctrica, que posteriormente es registrada por un software (Rivera y Valencia, 2013).

Como se mencionó anteriormente, el valor de señal obtenido es proporcional a la concentración de los átomos presentes en la nube de gases; de este modo

es posible construir una curva de calibración analizando soluciones patrón de concentración conocida y midiendo la magnitud de la absorción de cada una de ellas (Rivera y Valencia, 2013).

Un caso particular en la técnica de absorción atómica lo constituye el mercurio, ya que gracias a su volatilidad, no requiere el uso de llama para atomizarse y puede determinarse en forma de vapor frío. Mediante esta técnica se alcanzan límites de detección del orden de 1 ppb (Rivera y Valencia, 2013).

La determinación se realiza adicionando un agente reductor (cloruro estañoso o borohidruro de sodio), al digerido. La reacción del mercurio en solución con el agente reductor produce mercurio atómico muy volátil (Rivera y Valencia, 2013).

El vapor de mercurio es conducido hacia una celda colocada en el paso del haz de luz, donde ocurre la interacción entre los átomos de mercurio y la radiación, produciéndose la absorción (Rivera y Valencia, 2013).

2.18. DESCRIPCIÓN DEL EMBALSE LA ESPERANZA

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2015) los cambios ecológicos resultado de la construcción de una presa son muchos y en ocasiones lleva consigo innumerables cambios a nivel de la flora nativa, pudiendo en la mayoría de los casos ser negativa e irreversible ya que las especies deben adaptarse de un ecosistema original a uno artificial, en este cambio drástico la mayoría de las especies mueren o desaparecen en el intento de adaptación, este proceso lleva algunos años y para ello es necesario el restablecimiento de las condiciones necesarias, mediante un manejo adecuado.

La deforestación quizá es uno de los aspectos más duros e incontrolables en la construcción de estos embalses, en este medio no se puede establecer el plazo para su estabilización. La vegetación de las orillas desaparece y se altera por la sumersión e inundación de áreas antes secas.

En algunos casos las vegas de las orillas se puede reconstruir con cierta rapidez, por lo tanto es necesario antes realizar estudios para la reforestación, y así establecer ecosistemas o reconstruir otros similares, por lo tanto las especies arbóreas en lo posible deben ser nativas, ya que éstas son compatibles con el medio, esto es muy importante ya que los estratos bajos evitan la erosión edáfica, se debe además tratar de cultivar variedad de especies para asegurar también una diversidad de hábitats y de esta manera también evitar las plagas típicas en monocultivos. La calidad de este ecosistema está muy degradada (MAE, 2015).

La condición es pobre ya que el grado de alteración es muy alto, tanto por parte de los finqueros que están asentados en las orillas como por efectos de la rehabilitación constante de la carretera que cruza la presa. Los cambios que afectarían a largo plazo incluyen en este caso, no sólo los dados por los factores humanos sino también el hecho de que al alterarse un hábitat y construir un nuevo ecosistema se evidencian alteraciones climáticas y erosivas (derrumbes, excavaciones, quemas, inundaciones etc.), que no ayudan a una estabilidad completa. La reforestación con especies nativas del bosque original es una tarea sumamente difícil, en un medio inestable y poco elástico, entonces es necesario encontrar la solución más adecuada para la reforestación con especies de este tipo de bosque, pero con especies de segundo crecimiento, es decir invasoras, que crecen en bosques talados selectivamente (MAE, 2015).

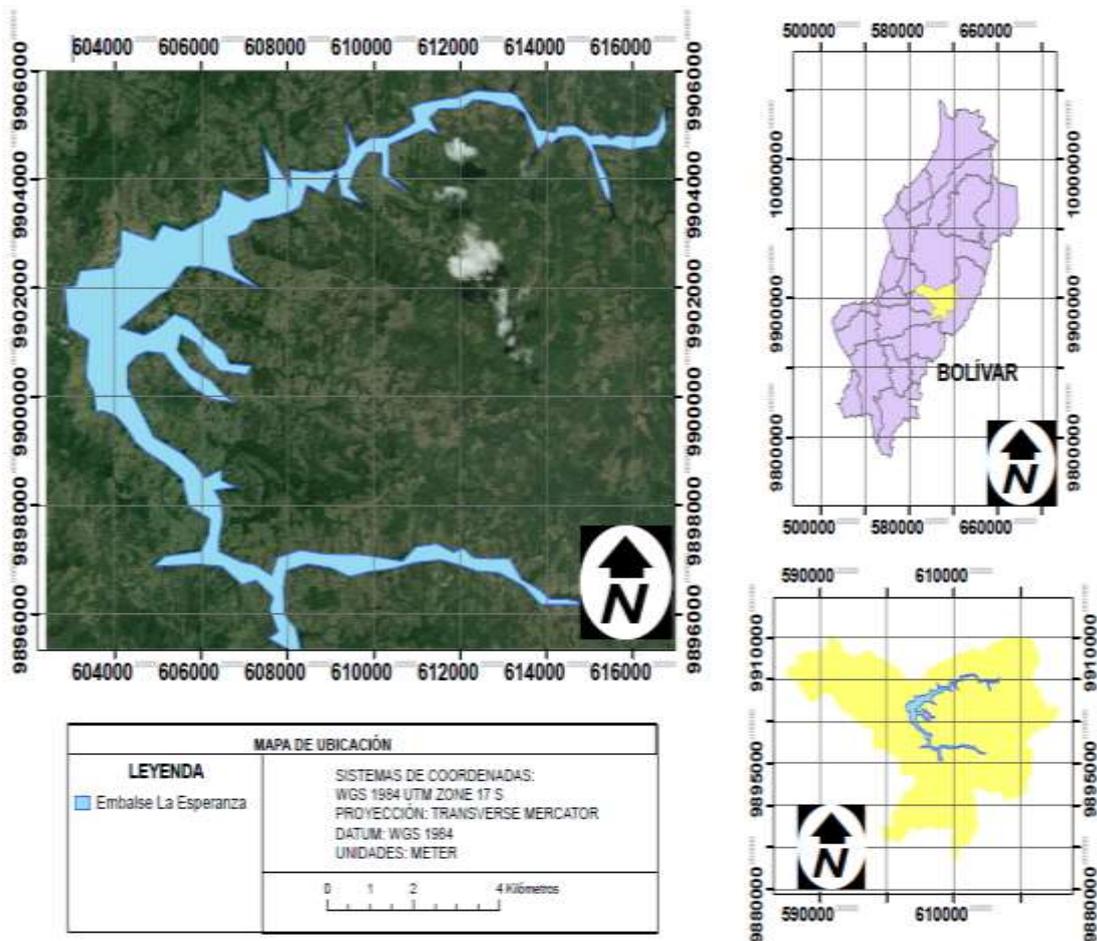
Por otra parte se deben desarrollar programas de capacitación para las personas de la zona, otorgándoles la información necesaria para que entiendan la importancia de mantener una capa arbórea y arbustiva ya que ayuda a evitar la erosión y ayudar de esta manera a una planificación racional de la tierra. La vegetación acuática es muy pobre, sin embargo, si se excede la población se debe en lo posible eliminarla por medios mecánicos, ya que aunque sirven como aporte de nutrientes para algunos peces, aves, y también como cobijo y protección, su excesivo crecimiento obstruye canales de riego y áreas de navegación(MAE,2015).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.2 UBICACIÓN

La investigación se la realizó en el embalse “La Esperanza” de la sub-cuenca del río Carrizal, la misma que se encuentra situada en la Parroquia Quiroga aproximadamente a 12 kilómetros de la cabecera cantonal del cantón Bolívar, Calceta, al sur-este de la cuenca del río Chone, dentro de la provincia de Manabí. El embalse se forma por afluentes de los ríos Bejuco, Caña, Carrizal y Membrillo con una extensión aproximada de 2.500 hectáreas con una cota máxima de operación de (66 m.s.n.m.), según lo declara en Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2015).



3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación será de tipo cuantitativa no experimental

3.3 VARIABLES DE ESTUDIO

3.3.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Niveles de mercurio en músculo, hígado y branquias

3.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Características morfológicas de los peces en estudio.

3.4. PROCEDIMIENTO

Para la ejecución de la investigación se plantearon tres fases, cada una de ellas, permitió el cumplimiento de los objetivos específicos propuestos, estas son:

3.4.1. FASE 1: IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

Actividad 1. Delimitar la zona de estudio

Conforme al reconocimiento del área de estudio, mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) y utilización del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) se establecieron cinco puntos de muestreo en zonas estratégicas que presenten una mayor susceptibilidad a cambios ambientales como se expresa en el Protocolo de Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (2016), de la autoridad nacional del agua del Perú 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. En este caso siguiendo lo expuesto los puntos establecidos fueron en zonas pobladas y de contaminación del embalse La Esperanza.

Actividad 2. Colecta de los peces en cada una de las estaciones establecidas

Luego que fueron establecidas las 5 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); con la ayuda de los pescadores nativos de la zona y sus técnicas empíricas utilizando redes para pescar se llevó a cabo la colecta de los peces en cada punto.

Actividad 3. Preparación de las muestras para llevar a efecto el análisis

Luego de haber obtenido los peces a estudiar, estos fueron llevados hasta el laboratorio para la toma de apuntes en cuanto al peso (g) y longitud (mm) de cada uno; luego se procedió 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 pesó 0,250g de muestra seca, fueron 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 dejaron 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 (Murgueitio *et. al* 2015).

3.4.2. FASE 2: CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS DEL PEZ *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) DEL EMBALSE LA ESPERANZA

Actividad 4. Determinación del nivel de mercurio en las muestras mediante el método de espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS)

Para llevar a efecto la determinación del nivel de mercurio fue utilizado el método de espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS), el cual una vez preparadas las muestras se realizó lo siguiente:

Procedimiento

- A partir de una solución estándar de 1000 ppm de Hg se preparó una de 10 ppm y luego de ésta última una de 100 ppb.
- De la solución de 100 ppb se preparó una curva de calibración, en matraces aforados de 100 ml, que contuvo 0 – 1 – 2 y 3 ppb de Hg.
- Paralelamente se tomó un volumen adecuado de muestra y se llevó a un matraz aforado de 100 ml.
- Se agregó a cada matraz un volumen de HCl concentrado de tal manera se obtuvo una solución de concentración de 3 M y se aforó 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 del profesor.
- Se aspiró simultáneamente, desde sus respectivos envases, solución de borohidruro 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).
- Se informó la concentración de Hg presente en la muestra.

3.5.3. FASE 3: INTERRELACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS CON RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS PECES

Actividad 5. Interrelación de los resultados obtenidos

Las mediciones obtenidas en la determinación de los niveles de mercurio en los distintos tejidos del pez (músculo, hígado y branquias) se representaron mediante gráficos de dispersión para observar diferencias en el grado de acumulación de acuerdo a sus características morfológicas (peso y longitud). Asimismo, con el fin de discernir aquellas diferencias estadísticamente significativas, se procesaron los datos a través de comparación de medias entre los valores determinados.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

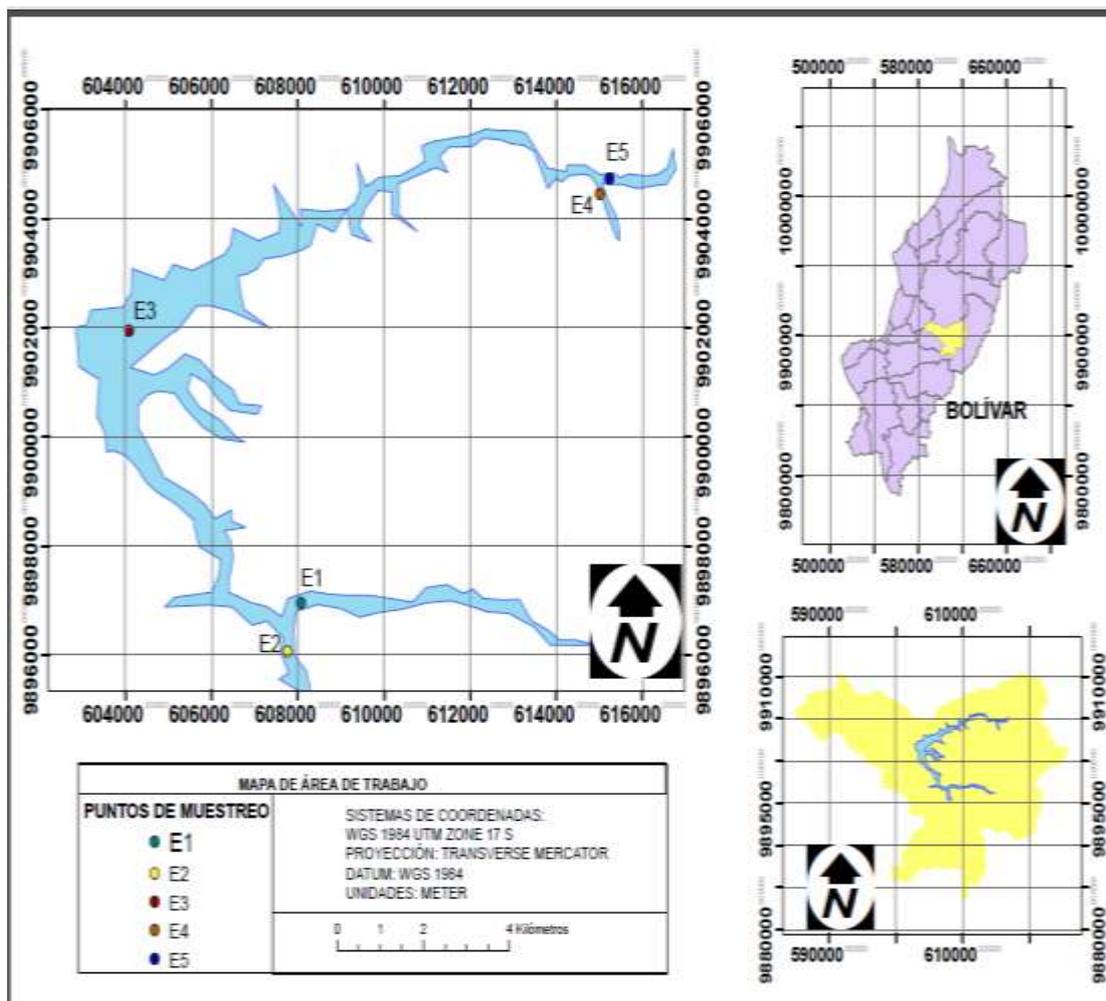
Para llevar a efecto esta fase se delimitó el área de estudio mediante la técnica de observación, en cada uno de los puntos que fueron establecidos, mismos donde se capturaron los peces del embalse La Esperanza, siendo cada una de las estaciones los respectivos afluentes con los que cuenta el embalse; es decir el río Bejuco, río Caña, río Carrizal, río Membrillo y un punto en el centro del embalse, puntos escogidos debido a las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en los lugares mencionados. La investigación de campo incluyó 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 de muestreo se realizaron aplicando el SIG (Sistema de Información Geográfica) y el programa ArcGis.

A continuación se observa la imagen satelital con los puntos establecidos respectivamente

Tabla 4.1: Coordenadas de los puntos de muestreo

Estaciones	Coordenadas	
	X	Y
E1: Río Bejuco	608079	9896943
E2: Río Carrizal	607765	9896063
E3: Río Membrillo	615235	9904722
E4: Río Caña	615011	9904447
E5: Punto Centro	604094	9901938



Las estaciones de muestreo se determinaron aplicando el protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos (2016), de la Autoridad Nacional del agua del Perú 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, denominadas de acuerdo a los afluentes que abastecen el embalse.

El afluente del río Carrizal fue la primera estación, la segunda fue en el río Bejuco. La tercera estación se la estableció en punto céntrico del embalse. La cuarta fue en el río Caña. La quinta estación se la ubicó en el río Membrillo donde se pudo observar que a sus alrededores se ejercen actividades agrícolas.

Una vez que fueron colectados cada uno de los peces en las diferentes estaciones estos fueron llevados hasta el laboratorio de química de la ESPAM MFL para su respectiva medición y pesaje antes de ser sometidos al desmembramiento y posterior preparación para el análisis; los resultados obtenidos como características morfológicas (peso y longitud) se los puede divisar a continuación:

Tabla 4.2 Longitud y peso de los peces

Estaciones	Muestreo Agosto		Muestreo Octubre	
	Longitud (mm)	Peso (g)	Longitud (mm)	Peso (g)
E1	260	476,5	230	372,5
E2	250	392,5	220	456,5
E3	260	492,2	250	442,2
E4	270	462,2	240	462,2
E5	220	249,8	210	229,8

4.1.2. CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS DEL PEZ *OREOCHROMIS NILOTICUS* (TILAPIA) DEL EMBALSE LA ESPERANZA.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de los peces se presentan de la siguiente manera:

Tabla 4.3: Muestras de tilapia (músculo) determinación de Hg

Estaciones	Agosto	Octubre
E1	0,230 ppm	0,218 ppm
E2	0,279 ppm	0,257 ppm
E3	0,314 ppm	0,298 ppm
E4	0,297 ppm	0,265 ppm
E5	0,267 ppm	0,248 ppm

Tabla 4.4: Muestras de tilapia (hígado) determinación de Hg

Estaciones	Agosto	Octubre
E1	0,286 ppm	0,232 ppm
E2	0,276 ppm	0,253 ppm
E3	0,283 ppm	0,264 ppm
E4	0,289 ppm	0,236 ppm
E5	0,237 ppm	0,215 ppm

Tabla 4.5: Muestras de tilapia(branquias) determinación de Hg

Estaciones	Agosto	Octubre
E1	0,343 ppm	0,312 ppm
E2	0,242 ppm	0,213 ppm
E3	0,271 ppm	0,253 ppm
E4	0,309 ppm	0,287 ppm
E5	0,336 ppm	0,314 ppm

Los niveles de mercurio detectados en las muestras de peces, correspondientes a los dos meses de muestreo, dieron como resultado cifras que se encuentran debajo del límite permisible (0,5 ppm) según lo establece la Unión Europea (UE), también se constató, que la muestra con mayor concentración se encuentra en las branquias con 0,343ppm, en la estación E1 , tomada en el mes de agosto del río Bejuco.

4.1.3. INTERRELACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN MÚSCULO, HÍGADO Y BRANQUIAS CON RESPECTO A LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LOS PECES

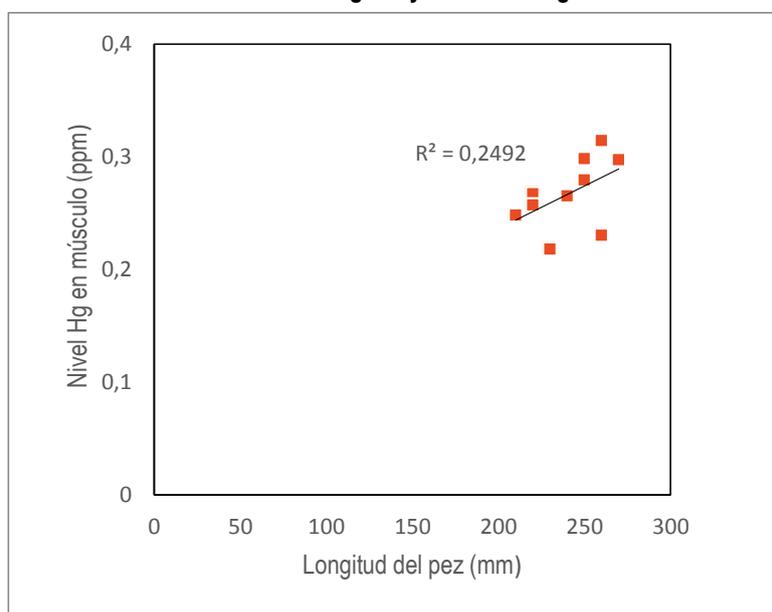
Se establecieron relaciones entre las características morfológicas (peso y longitud) de cada uno de los peces y los resultados obtenidos en los análisis de sus tejidos (músculo, hígado y branquias), reflejados en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 4.6: Interrelación entre las características morfológicas del pez tilapia

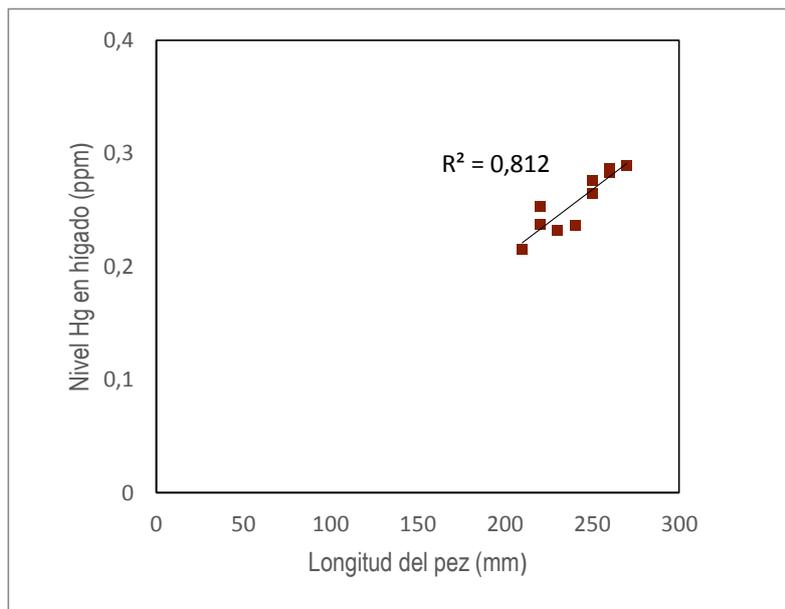
Estaciones	Longitud (mm)	Peso (g)	Nivel de mercurio (Hg) en músculo	Nivel de mercurio (Hg) en hígado	Nivel de mercurio (Hg) en branquias
E1 (A)	260	476.5	0.23	0.286	0.343
E2 (A)	250	392.5	0.279	0.276	0.242
E3 (A)	260	492.2	0.314	0.283	0.271
E4 (A)	270	462.2	0.297	0.289	0.309
E5 (A)	220	249.8	0.267	0.237	0.336
E6 (O)	230	372.5	0.218	0.232	0.312
E7 (O)	220	456.5	0.257	0.253	0.213
E8 (O)	250	442.2	0.298	0.264	0.253
E9 (O)	240	462.2	0.265	0.236	0.287
E10 (O)	210	229.8	0.248	0.215	0.314

Las diferencias de cada una de las características morfológicas (peso y longitud) con relación al nivel de mercurio de cada muestra se la reflejó mediante gráficos de dispersión que se presentan de la siguiente manera:

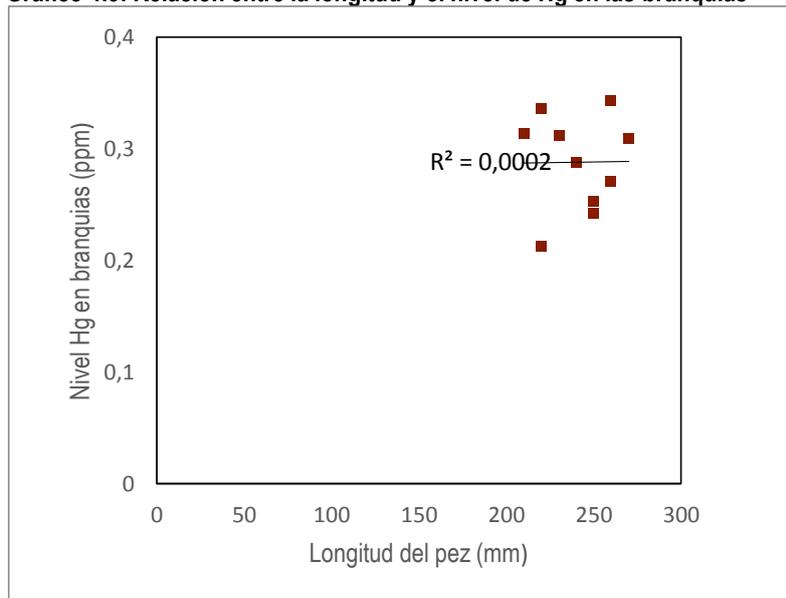
Gráfico 4.1: Relación entre la longitud y el nivel de Hg en el músculo



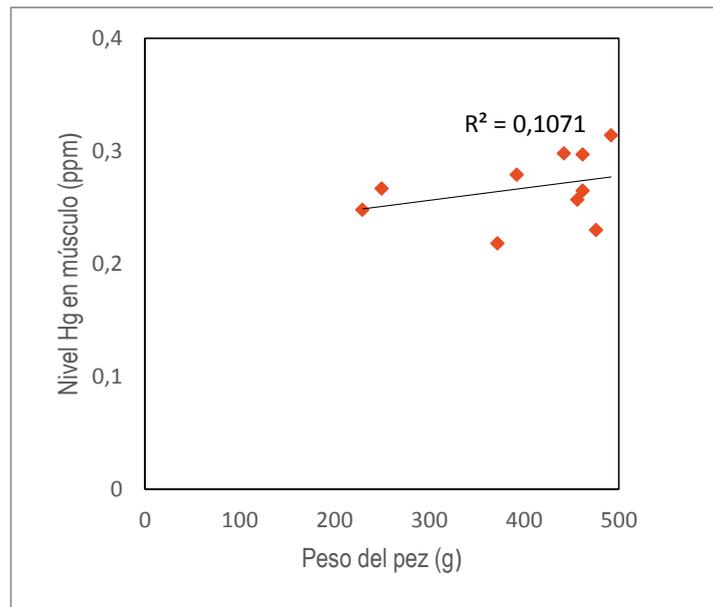
Entre la longitud del pez no existe una relación muy significativa con el nivel de mercurio (Hg) en el músculo, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos.

Gráfico 4.2: Relación entre la longitud y el nivel de Hg en el hígado

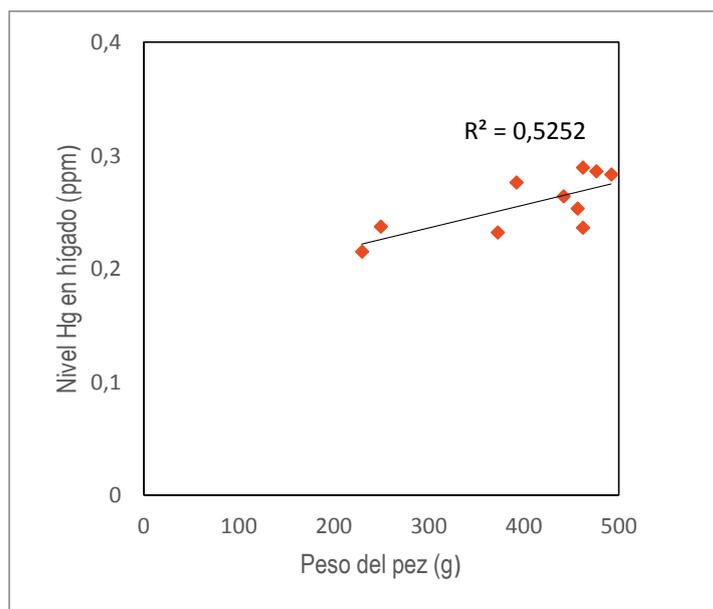
Entre la longitud del pez si existe una relación bastante considerable con el nivel de mercurio (Hg) en el hígado, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos

Gráfico 4.3: Relación entre la longitud y el nivel de Hg en las branquias

Entre la longitud del pez no existe una relación significativa con el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos.

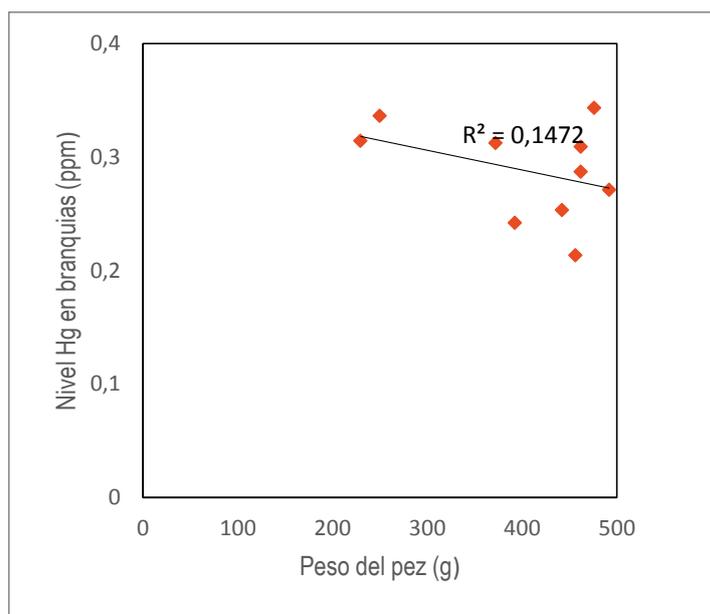
Gráfico 4.4: Relación entre el peso y el nivel de Hg del músculo

Entre el peso del pez no existe una relación significativa con el nivel de mercurio (Hg) en el músculo, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos.

Gráfico 4.5: Relación entre el peso y el nivel de Hg en el hígado

Entre el peso del pez si existe una relación considerable con el nivel de mercurio (Hg) en el hígado, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos.

Gráfico 4.6: Relación entre el peso y el nivel de Hg en las branquias



Entre el peso del pez no existe una relación considerable con el nivel de mercurio (Hg) en las branquias, tomando en cuenta los resultados que arrojó el gráfico con los datos de las diez muestras tomadas en los dos muestreos.

4.2. DISCUSIÓN

En relación con los resultados antes expresados, los niveles de mercurio encontrados en los peces de las cinco estaciones planteadas en el embalse La Esperanza, en los meses de muestreo agosto y octubre, se consideran por debajo del límite máximo permisible establecido en la Norma Internacional Europea, obteniéndose un promedio de 0,307 ppm, siendo el hígado el tejido con mayor concentración con 0,257 ppm por espécimen, (la normativa establece 0,5 ppm como máximo); los resultados en esta investigación son muy similares a un estudio que según (Estupiñán, 2015) fue realizado en Boyacá-Colombia, en la cuenca alta del río Chicamocha efectuado por Edwin Javier Vergara Estupiñán, quién obtuvo en el hígado la mayor concentración de Hg, estableciendo un promedio de 0,3 ppm.

Raimann *et al.*, (2014) expresa que el mercurio es un metal sumamente tóxico y puede causar trastornos en el sistema nervioso así lo menciona; por lo cual, hace referencia (Altahona y Movilla, 2016) mencionando que existe riesgo

latente en la salud de las personas que los consuman y en el ambiente, sea este caso uno de los recursos naturales como es el agua, donde este metal puede distribuirse fácilmente.

Los resultados obtenidos se encuentran por debajo de los límites permisibles que establece la normativa internacional (UE); al realizar la comparación de los niveles obtenidos, que de acuerdo a lo que manifiesta (Siangas, 2005), los resultados que presenta Esther López en su estudio ejecutado en La Paz-Bolivia en el año 2005, específicamente en la Amazonía Boliviana, donde expresa una relación muy significativa entre la concentración de Hg y las características morfológicas (peso y longitud) de una población de peces. Cabe recalcar que los valores anteriormente resaltados se irían incrementando con el paso del tiempo y con la variación de las características morfológicas del espécimen, debido al proceso de biomagnificación, que según (Barbosa *et al.* 2003) significa aumento de mercurio en los tejidos del pez.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada para la identificación de las características morfológicas permitió obtener resultados, con un promedio de 241 mm de longitud y 403 g de peso por cada espécimen de un total de 10.
- Se evidenció presencia de mercurio con un promedio de 0,307 ppm en la especie estudiada, nivel que se encuentra por debajo del límite máximo permisible establecido en la Norma Internacional Europea.
- El peso y la longitud se encuentran relacionados con la concentración de mercurio en el hígado, en donde se obtuvo un promedio de 0,257 ppm de un total de 10 especímenes.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones en otras especies nativas del embalse, para determinar su bioacumulación en mercurio y otros metales pesados.
- Determinar las fuentes por contaminación de mercurio en el embalse la Esperanza del cantón Bolívar.
- Socializar problemática por contaminación de mercurio en peces a los habitantes del sector y sus consecuencias a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- 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. (En línea). ATL. Consultado, 10 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/bitstream/handle/11323/943/trabajo%20final%20an%c3%81lisis%20de%20concentraciones%20de%20mercurio%20en%20pec.pdf?sequence=1>
- Barbosa, A. 2003. Mercury biomagnification in tropical black water, Río Negro, Brazil. *Archives Environmental Contamination and Toxicology* 45:235-246
- Basantes, C. 2015. Evaluación del uso de balanceado orgánico vs el alimento industrial sobre la conversión alimenticia de la *Oreochromis sp* (tilapia) criada en cultivo intensivo. Tesis. Veterinario Zootecnista Medico. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, EC. p 17-20.
- Cabañero, A. (2005). Acumulación-Interacción de especies de mercurio y selenio en tejidos animales: Desarrollo de nuevas metodologías de análisis. Tesis Doctoral. Madrid.
- Calderón, J. 2016. Evaluación de la temperatura y pH del agua de los estanques para mejorar el crecimiento de alevines de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en la hacienda “El Gran Manantial” parroquia Pacto al noroccidente de Quito. Tesis. Ing. Agroindustrial y de Alimentos. UDLA. Quito, EC. p 8-10.
- Costa, L. 2007. Contaminants in fish: risk-benefit. Considerations.». *Arh Hig Rada Toksikol.*
- Chumbi, W. 2015. Diseño de una planta de producción piscícola y mejoramiento productivo. Tesis. Tecnólogo en Producción y Seguridad Industrial. UDLA. EC. p 7.
- Espino, F., Boyra, A., Tuya, F. y Haroum, R. 2006. Guía visual de especies marinas de Canarias. Islas Canarias: Gobierno de Canarias. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Viceconsejería de Pesca.
- Europea, C. 2005. Estrategia comunitaria sobre el mercurio. Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo. <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/final-assessment-report-25nov02.pdf>.
- Estupiñán, E. 2015. Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Río Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200011

- García, C. 2010. Determinación de mercurio por generación de vapor frío y detección vía absorción y fluorescencia atómica. En línea. Sartenejas. Consultado, 29 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <http://159.90.80.55/tesis/000149413.pdf>.
- Hendry, W., A'Hern, F. y Cole, P. 1993. Was Young's syndrome caused by mercury exposure in childhood?. . BMJ 307.
- INS, Instituto Nacional de Salud. 2015. Evaluación de Riegos en Inocuidad de Alimentos. Bogotá, CO. p 23-25.
- Jiménez, M. 2009. Desarrollo de métodos analíticos para especiación de mercurio y su aplicación a la comarca de Almadén. En línea. EC. Consultado, 28 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/997/264%20Desarrollo%20de%20m%C3%A9todos%20anal%C3%ADticos.pdf?sequence=1>
- Jumbo, C. 2013. La Tilapia. http://patrimonioalimentario.culturaypatrimonio.gob.ec/wiki/index.php/Guanchiche#Referencia_fotogr.C3.A1fica.
- Koshland, S. 2014. Recuperado el 30 de mayo de 2017, de <https://www.koshlandsciencemuseum.org/water/html/es/Treatment/Arsenic-Contamination.html>
- Landín, S. 2015 Producción de tilapia en criaderos en el cantón Santa Rosa, provincia de El Oro para su exportación a España. En línea. EC. Consultado, 2 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11050/1/tesis%20final%20exportacion%20de%20tilapia%20a%20espa%C3%91a.pdf>
- Leganés, M. 2013. ecologistas en acción. Recuperado el junio de 2017, de <http://www.ecologistasenaccion.org/article25804.html>
- Lewine, H. 2013. Fish oil: friend or foe? Message posted to . Recuperado el 06 de 08 de 2017, de <http://www.health.harvard.edu/blog/fish-oil-friend-or-foe-201307126467>
- López, C. 2016. Desarrollo de un método analítico para la determinación de mercurio atmosférico. En Línea. CO. Consultado, 28 de nov. 2017. Formato PDF Disponible en http://www.bdigital.unal.edu.co/53743/1/4344234_2.2016.pdf
- MAE, Ministerio del Ambiente del Ecuador 2015. Humedales. <http://suia.ambiente.gob.ec/web/humedales/embalse-la-esperanza>.
- Marianela, R. 2009. Recuperado el 18 de junio de 2017, de <http://marianela-analisisinstrumental.blogspot.com/2007/05/tecnica-de-vapor-frio-y-generator-de.html>

- Marin, A. 2016. Ciencias de la tierra, ecología y biología medioambiental. Gayana, http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071765382016000200147.
- Mozaffarian, D. y Rimm. 2006. Fish intake, contaminants, and human health: Evaluating the risks and the benefits». <http://seafood.oregonstate.edu/.pdf%20Links/Fish-Intake-Contaminants-and-Human-Health-JAMA.pdf>.
- Murgueito, E., Cumbal, L., Aguirre, V. y Chávez, C. 2015. Desarrollo de una tecnología para la recuperación de las aguas de la laguna Papallacta contaminadas con arsénico y metales pesados usando materiales sorbentes emergentes. Consultado el 05 de jun, 2016. Formato PDF
- OMS, Organización Mundial de la Salud. 2017 Recuperado el 4 de abril de 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>
- Paz, S., Burgos, A., Gutiérrez, A., Hernández, C., Lozano, G., Rubio, C. y Hardisson, A. 2017. El Mercurio: contaminante marino y alimentario. En línea. ES. Consultado, 8 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <ile:///C:/Users/DELL/Downloads/Mercurio.Contaminantemarinoalimentario.pdf>
- Pérez, M. y Sáenz, M. 2015. Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi-intensivos. Tesis. Ing. Acuícola. León, NIC. p 11-12.
- Raimann, J., Rodríguez, L., Chávez, P. y Torrejón, C. 2014. Mercurio en pescados y su importancia en la salud. Santiago, CL. Revista médica de Chile. Vol. 142. p 1174.
- Rivera, P. y Valencia, J. 2013. Validación de la metodología para el análisis de mercurio en agua tratada y cruda, y estandarización del análisis de mercurio en pescados por el método de absorción atómica vapor frío para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira. En línea. Pereira. Consultado, 28 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3659/5430858R621.pdf>
- Rodríguez, C. 2010. Generalidades y razas de peces. Recuperado el 23 de agosto de 2015, de <http://es.slideshare.net/pipe69/generalidades-y-razas-de-peces>.
- Ruidera, A. 2009. Desarrollo de métodos analíticos para especiación de mercurio y su aplicación a la comarca de Almadén. En línea. EC. Consultado, 28 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/997/264%20Desarrollo%20de%20m%C3%A9todos%20anal%C3%ADticos.pdf?sequence=1>

- Ruiz, I. 2016. Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado. Costa Rica. Revista Pensamiento Actual. Vol.16. p 116.
- Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de Tilapia. En línea. NIC. Consultado, 7 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en <http://www.crc.uri.edu/download/manejo-del-cultivo-de-tilapia-cidea.pdf>
- SENPLADES Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2009. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural. 2ed. Quito, EC. p 38
- Serrano, M. 2003. CFGS Química Ambiental. Xarxa Telemàtica Educativa de Catalunya. http://www.xtec.net/~gjimene2/llicencia/students/bscw.gmd.de_bscw_bscw.cgi_d43016720-3_____Hg_inicio.html
- Serrano, L. 2007. ambiente ecologico. Recuperado el junio de 2017, de http://www.ambienteecologico.com/ediciones/2002/085_09.2002/085_Investigacion_LuisBarretoSerrano.php3
- Siangas, E. 2005. Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en diferentes poblaciones de peces de la amazonía Boliviana. La Paz, Bolivia.
- UNEP Programa de las Naciones Unidas Para el Ambiente. 2003. Global Mercury Assessment. Presented at UNEP Governing Council, . <http://www.chem.unep.ch/mercury/Report/Final%20report/finalassessment-report-25nov02.pdf>.
- Valdiviezo, J. 2010. El hábitat del pescado tilapia.
- Weinberg, J. 2010. Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONG. En línea. EC. Consultado, 8 de nov. 2017. Formato PDF. Disponible en http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Anexo 1.A. Visita de campo del primer muestreo



Anexo 1.B. Visita de campo del segundo muestreo



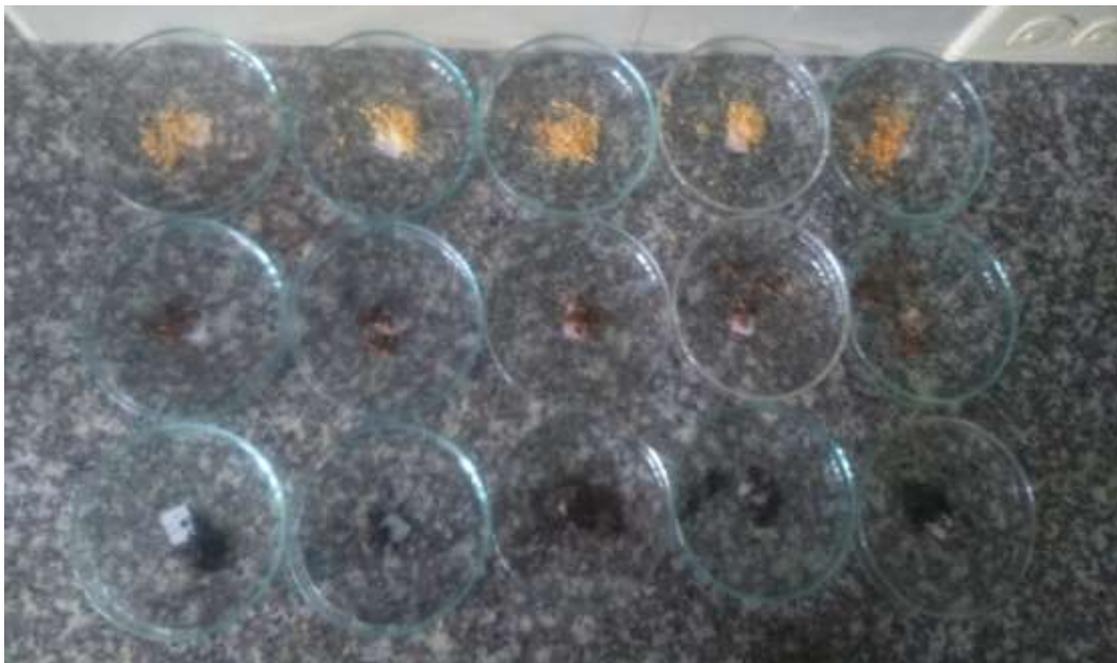
Anexo 1.C. Pesaje del espécimen



Anexo 1.D. Medición del espécimen



Anexo 1.E. Extracción de las muestras del espécimen



Anexo 1.F. Preparación de las muestras para el análisis

ANEXO 2

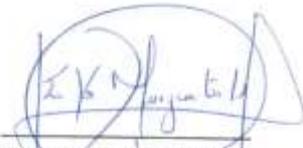
	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN LABORATORIO DEL MEDIO AMBIENTE
---	--

REPORTE DE RESULTADOS

SOLICITANTE: Dra. Ana Aveiga Ortiz	TIPO DE MUESTRA: Peces (RECOLECTADA POR EL CLIENTE)
PROVINCIA: Manabí CANTÓN: Bolívar	LUGAR DE MUESTREO: Embalse La Esperanza Bolívar - Manabí (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA TOMA DE MUESTRA: 17-08-2017, 04-10-2017, (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 17-10-2017, 18-10-2017, 19-10-2017, 26-10-2017
MUESTRAS TOMADAS POR: Rosa Rivadeneira Fabiola Zambrano	FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 13-11-2017
CORREO ELECTRÓNICO CLIENTE: ricardozamra@gmail.com	RECIBIDO POR: Ing. Alexandra Albán

PARÁMETRO	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO	RESULTADOS EMBALSE						
			Muestras de Tilapia						
			ESTACIONES	MÚSCULO		HÍGADO		BRÁNQUEAS	
	AGOSTO (ppm)	OCTUBRE (ppm)	AGOSTO (ppm)	OCTUBRE (ppm)	AGOSTO (ppm)	OCTUBRE (ppm)			
Mercurio (Hg)	mg/L o (ppm)	APHA AWWA WEF 3112-B	1	0,230	0,218	0,286	0,232	0,343	0,312
			2	0,279	0,257	0,276	0,253	0,242	0,213
			3	0,314	0,298	0,283	0,264	0,271	0,253
			4	0,297	0,265	0,289	0,236	0,309	0,287
			5	0,267	0,248	0,237	0,215	0,336	0,314

- Métodos normalizados adaptados de Standard Methods.
- El solicitante debe exigir el original con sello del LMA, el laboratorio no se responsabiliza por documentos fotocopiados.
- Los resultados del presente informe afectan únicamente a las muestras analizadas.
- El LMA se encuentra en proceso de acreditación.


 Química Erika Murgueitio, PhD(c)
 Jefe de Laboratorio


 Ing. Alexandra Albán
 Analista Laboratorio



ANEXO 3**Mercurio**

ALIMENTO	TOLERANCIA
Pescados y productos de la pesca	0,50

Anexo 3.A. Limite permisible establecido por la normativa Europea (UE)