



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

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERIA EN
MEDIO AMBIENTE**

**MODALIDAD:
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN AGUA Y
SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA**

AUTORAS:

**RIBADENEIRA ACOSTA ROSA MARÍA
ZAMBRANO GILCES FABIOLA ESTEFANÍA**

TUTORA:

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc.

CALCETA, JUNIO 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

ROSA MARÍA RIBADENEIRA ACOSTA y FABIOLA ESTEFANÍA ZAMBRANO GILCES, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado por 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.

ROSA M. RIBADENEIRA ACOSTA

FABIOLA E. ZAMBRANO GILCES

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTIZ, M.Sc, certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA**, que ha sido desarrollada por **ROSA MARÍA RIBADENEIRA ACOSTA Y FABIOLA ESTEFANÍA ZAMBRANO GILCES**, previo la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** 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 **EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA**, que ha sido propuesto, desarrollado por **RIBADENEIRA ACOSTA Y FABIOLA ESTEFANÍA ZAMBRANO GILCES**, previa la obtención del título de Ingeniera 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.

ING. LAURA MENDOZA C, M.Sc
MIEMBRO

EC. TEÓDULO ZAMBRANO F, M.Sc.
MIEMBRO

ING. FRANCISCO VELÁSQUEZ I, M.Sc.
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

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 padres, quienes con su apoyo moral e incondicional lucharon junto a nosotras para que este sueño se hiciera realidad.

A la tutora del informe de trabajo de titulación Q.F Ana María Aveiga Ortiz, M.Sc, que supo guiarnos y sobre todo, por la paciencia en el transcurso de la investigación.

A los miembros del Tribunal, quienes con su experiencia y predisposición, nos ayudaron durante todo este proceso.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

A los pilares fundamentales en mi vida:

A Dios por haberme dado la vida que es en quien deposito mi fe cada día para continuar forjando mi camino, por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Rosa y a mis hermanos, Karina, Juan y Hernan por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional en todo momento de mi vida

A una persona muy importante que es como mi padre quien ha sido un apoyo constante en mi etapa universitaria.

ROSA M. RIBADENEIRA ACOSTA

DEDICATORIA

A Dios, ser todo poderoso quien estuvo presente en todo momento de mi vida.

A mi tía Grimaldy que desde la tierra y el cielo me ayudo a iniciar y culminar esta etapa universitaria.

A mis padres, Servio, Saida a mis hermanos Alejandro y Sofia por el apoyo incondicional que me brindan en cada momento, por la motivación servida día ya día, por los sabios consejos que guían mi vida.

Y a todas las personas que confiaron en mí, que siempre me apoyaron y que han colaborado para la realización de este trabajo de titulación.

FABIOLA E. ZAMBRANO GILCES

CONTENIDO GENERAL

CARÁTULA.....	i
DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi-vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Metales pesados.....	5
2.1.1. Orígen de los metales pesados en los sistemas acuáticos.....	5
2.1.2. Movimiento de residuos de metales pesados en el ambiente.....	6
2.1.3. Factores que afectan la acumulación de metales pesados en los organismos acuáticos.....	7
2.1.4. Contaminación de aguas por metales pesados.....	8

2.2.	Mercurio	8
2.2.1.	Principales fuentes de liberación del mercurio	9
2.2.2.	Formas químicas: especiación del mercurio.....	10
2.2.3.	Efecto del mercurio sobre el medio ambiente.....	11
2.2.4.	Efectos del mercurio sobre la salud humana.....	13
2.3.	Agua.....	15
2.4.	Calidad de aguas superficiales	15
2.5.	Contaminación de aguas superficiales	15
2.6.	Sedimento	16
2.7.	Sedimentos y metales pesados	16
2.8.	Cuenca hidrográfica	17
2.9.	Microcuencas	17
2.10.	Ríos y quebradas	17
2.11.	Embalse	17
2.12.	Tulsma libro VI	18
2.12.1.	Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico	18
2.12.2.	Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego	18
2.13.	Normativa internacional canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life	19
2.14.	Monitoreo del agua.....	20
2.15.	Estaciones de muestreo	20
2.16.	Muestreo de sedimentos	20
2.17.	Sistemas de información geográfica.....	20
CAPÍTULO III DESARROLLO METODOLÓGICO.....		21
3.1.	Ubicación	21
3.2.	Duración.....	21

3.3.	Tipo de investigación.....	21
3.4.	Variables en estudio.....	22
3.4.1.	Variable dependiente.....	22
3.4.2.	Variable independiente.....	22
3.5.	Procedimiento.....	22
3.5.1.	Fase 1. Definición de la distribución espacial en el área de estudio.	22
3.5.2.	Fase 2. Determinación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el embalse La Esperanza.....	23
3.5.3.	Fase 3. Análisis de los resultados de las concentraciones de mercurio en agua y sedimento con la normativa vigente nacional e internacional.	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		26
4.1.	Establecimiento de las características fisiográficas del área en estudio. .	26
4.2.	Distribución espacial del área de estudio.....	27
4.3.	Determinación del nivel de concentración de mercurio en agua y sedimento en el embalse La Esperanza.....	28
4.4.	Análisis los resultados de las concentraciones de mercurio en agua y sedimento con la normativa vigente nacional e internacional.....	30
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		33
5.1.	Conclusiones.....	33
5.2.	Recomendaciones.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....		35
ANEXO.....		45

CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 4.1 Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	27
Cuadro 4.2 Resultados de los análisis de laboratorio a la muestra de agua superficial.....	30
Cuadro 4.3 Resultados de los análisis de laboratorio a la muestra de sedimento	31

GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Presencia de mercurio en muestras de agua superficial del embalse La Esperanza	28
Gráfico 4.2 Presencia de mercurio en muestras de sedimentos del embalse La Esperanza	29

FIGURAS

Figura 4.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el embalse La Esperanza.....	27
---	----

RESUMEN

Se evaluó los niveles de concentración de mercurio en agua y sedimento del embalse La Esperanza. Se establecieron cinco puntos de muestreo, ubicados en los sitios Bejuco (1), Carrizal (2), Dos Bocas (3), Membrillo (4) y en el centro del embalse (5). Para la determinación de mercurio en el embalse La Esperanza, en la muestra de agua superficial y sedimentos se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros. Los resultados fueron comparados con la legislación ambiental vigente (TULSMA) y las Guías de Calidad Ambiental Canadiense (ISQG). Según los análisis la concentración de mercurio en la muestra de agua superficial en el mes de agosto estuvo comprendido entre los valores de 0,032 a 0,117 mg/l, y en el mes de octubre de 0,077 hasta 0,137 mg/l, estos valores exceden los límites máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental ecuatoriana para agua de consumo humano y uso doméstico (0,006 mg/l) y para agua de uso agrícola (0,001 mg/l). En sedimentos la concentración de mercurio en agosto estuvo entre 0,232 a 0,256 mg/kg y en octubre de 0,203 hasta 0,232 mg/kg, lo que supera los límites máximos permisibles de la norma canadiense Internacional Standard Quality Guidelines (ISQG) para sedimentos (0,17 mg/kg), y de acuerdo al Probable Effect Level (PEL) las concentraciones de este provocan efectos biológicos ocasionales. Las concentraciones de mercurio en los cinco puntos de muestreo permitió concluir que existe contaminación de Hg en el embalse La Esperanza.

PALABRAS CLAVE

Metal, concentración, norma, sedimento, agua.

ABSTRACT

The levels of mercury concentration in water and sediment of the La Esperanza reservoir were evaluated. Five sampling points were established, located in the sites Bejuco (1), Carrizal (2), Dos Bocas (3), Membrillo (4) and in the center of the reservoir (5). For the determination of mercury in the La Esperanza reservoir, the atomic absorption spectrometry method for the generation of hydrides was used in the surface water sample and sediments. The results were compared with the current environmental legislation and the Canadian Environmental Quality Guidelines. According to the analysis, the mercury concentration in the surface water sample in the month of August was between the values of 0.032 to 0.117 mg/l, and in the month of October of 0.077 to 0.137 mg/l, these values exceed the limits permissible maximums established by the Ecuadorian environmental legislation for water for human consumption and domestic use (0.006 mg/l) and for water for agricultural use (0.001 mg/l). In sediments the concentration of mercury in August was between 0.232 to 0.256 mg/kg and in October from 0.203 to 0.232 mg/kg, which exceeds the maximum permissible limits of the Canadian International Standard Quality Guidelines (ISQG) for sediments (0,17 mg/kg), and according to the Probable Effect Level (PEL) concentrations of this cause occasional biological effects. The concentrations of mercury in the five sampling points allowed to conclude that Hg contamination exists in the La Esperanza reservoir.

KEYWORDS

Metal, concentration, norm, sediment, water.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental es uno de los problemas más importantes a nivel mundial. El deterioro de la calidad del agua, aire y la pérdida de suelos disponibles para la agricultura ha aumentado de forma exponencial (Chen, 2013). Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ya sea natural o antrópica, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública (Huang, 2014).

Los metales pesados son de los contaminantes que más alteran el medio ambiente debido a su persistencia y alta toxicidad (Romero, 2009). Algunos de los principales metales pesados de acuerdo a su toxicidad son Talio (Tl), Niquel (Ni), Bismuto (Bi), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Antimonio (Sb), Arsenico (As), y Plomo (Pb). Estos contaminantes incluso a nivel de trazas causan problemas en el ambiente (Londoño *et al.*, 2016; Reyes *et al.*, 2016), en las últimas décadas su concentración en el medio natural ha aumentado debido al desarrollo industrial y otras actividades antropogénicas, (Alvarado *et al.*, 2015).

El impacto que causa en la salud los metales pesados ya sea por exposición prolongada o por bioacumulación resulta alarmante, (Combariza, 2009). Dependiendo del tipo de metal se pueden producir ciertas afecciones que van desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos, (Nava y Méndez, 2011).

Los metales son persistentes y no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antrópicos, (Acosta *et al.*, 2002). Una vez que entran en los ecosistemas acuáticos, se van transformando a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico químicas (Marín *et al.*, 2016).

El mercurio es uno de los metales que más se ha estudiado por los grandes problemas que puede ocasionar, (Rengifo y Reyes, 2016). Cualquier fuente de mercurio al ambiente implica un elevado riesgo para la salud humana, especialmente la acumulación de compuestos de mercurio inorgánico en el ecosistema acuático ya que pueden darse las condiciones propicias para la metilación del mercurio inorgánico, el cual ingresa a la cadena alimenticia al ser ingerido y bioacumulado en los peces, incrementando el riesgo de toxicidad humana por consumo de pescado contaminado, (García y Alva, 2013).

El mercurio cuando es introducido en un sistema acuático, generalmente es depositado a través de procesos de precipitación y sedimentación en la capa de sedimento (Avila *et al.*, 1999; Rodríguez y Avila, 1997). De tal manera que el sedimento provee información sumamente valiosa de la historia de la calidad del cuerpo de agua (Von Gunten *et al.*, 1997).

De acuerdo a Velásquez *et al.* (2017) la cuenca del embalse La Esperanza presenta una tasa de deforestación de 0,091% equivalente a 733,08 ha/año debido al cambio de uso de suelos, este cambio fue de suelos forestales secundarios por cultivos agrícolas y siembra de pasto para ganado. El azolvamiento del embalse se estima en 50% equivalente a 200 Hm³ (Velásquez *et al.*, 2017). Este arrastre de sedimentos junto a las actividades que se realizan en las microcuencas aportantes al embalse puede estar contribuyendo metales pesados al agua.

Ante lo expuesto se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto probable sobre la vida acuática por la concentración de mercurio en agua y sedimento del embalse La Esperanza en el cantón Bolívar, Provincia de Manabí?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Según Mancera y Álvarez (2006) el mercurio se ha constituido en uno de los elementos de contaminación más importante con efectos sobre la salud pública. El mercurio es bioamplificado casi en su totalidad por los peces en forma de metilmercurio, sustancia altamente tóxica y de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, convirtiéndola en un elemento clave en las cadenas alimentarias acuáticas que culminan en el consumo humano. El Hg se acumula en sedimentos, en la base de los cuerpos de agua, donde los microorganismos como bacterias pueden convertirlo a la forma orgánica del metilmercurio.

La Constitución del Ecuador (2008) en el Título VII Capítulo 2 Sección sexta Art. 411, señala: El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Esta investigación se acoge al objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir, donde la política 7,6 establece: “Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua, Secretaría Nacional De Planificación Y Desarrollo” (SENPLADES, 2013).

Considerando que el embalse La Esperanza constituye una unidad natural importante para el crecimiento económico de las poblaciones circundantes a ella, donde se realizan actividades de pesca de subsistencia, esta investigación propone evaluar los niveles de mercurio en agua y sedimento del embalse La Esperanza, debido a que es un metal pesado que tiende a bioacumularse en peces (García y Alva, 2013), los mismos que son consumidos por los habitantes del embalse, este consumo podría tener graves consecuencias a la salud humana (Casas *et al.*, 2015); (Raimann *et al.*, 2004); (Echeverry *et al.*, 2015).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la concentración de mercurio en agua y sedimento y su efecto probable sobre la vida acuática, en el embalse La Esperanza del cantón Bolívar, Provincia de Manabí.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir la distribución espacial en el área de estudio.
- Determinar la concentración de mercurio en agua y sedimento en el embalse La Esperanza.
- Analizar los resultados de las concentraciones de mercurio en agua y sedimento con la normativa vigente (nacional e internacional).

1.4 HIPÓTESIS

La concentración de mercurio en agua y sedimento en el embalse La Esperanza, superan los límites permisibles establecidos por la legislación vigente, lo que causa efectos biológicos frecuentes sobre la vida acuática.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 METALES PESADOS

Según Lucho *et al.* (2005) el término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad ya sea tóxico o nocivo en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros.

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos, debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas (Abollino *et al.*, 2002).

Los metales pesados son considerados entre los contaminantes más problemáticos en los ecosistemas acuáticos, siendo una de las razones la capacidad que tienen para formar complejos con la materia orgánica presente tanto en el agua como en los sedimentos y por su fácil ingreso en los organismos, ya que la tendencia de estos elementos metálicos es la de fijarse en los tejidos de los organismos expuestos (Avila, 1995). Los metales pesados en aguas naturales pueden existir en la forma de iones libres, unidos a carbonatos solubles, sulfuros, hidróxidos, cloruros o sulfatos y como complejos solubles con ligandos orgánicos (Chapman, 1992).

La determinación de la concentración total de los metales en el ambiente acuático, no proporciona información de las fracciones que se consideran tóxicas para los organismos; para ello es necesario evaluar las fracciones disueltas y particuladas, a través de metodologías de especiación (Salomons y Forstner, 1984).

La mayoría de los metales pesados liberados al ambiente llegan a los sistemas acuáticos a través de descargas directas, precipitación húmeda o seca y erosión. Los sedimentos pueden incorporar y acumular los metales que llegan al ambiente lacustre, y cambios en sus condiciones físico químicas pueden removilizar y liberar los metales a la columna de agua (Altindag y Yigit 2005); (Harikumar *et al.*, 2009). Estos aportes pueden transferirse a través de la trama trófica a los peces, a otros animales piscívoros y al hombre, e involucrar por lo tanto aspectos sanitarios y de preservación ambiental (Chen *et al.*, 2000).

2.1.1 ORÍGEN DE LOS METALES PESADOS EN LOS SISTEMAS ACUÁTICOS

Los metales que entran en el medio acuático pueden tener origen natural o antropogénico. La erosión y la lixiviación química de suelos y roca constituyen la aportación más importante por procesos de origen natural. Sin embargo,

actualmente la cantidad de metales procedentes de la actividad industrial y minera, iguala o excede a la liberada al medio acuático por procesos naturales. La necesidad que tiene un ser vivo de un determinado elemento se verá reflejado en la capacidad que tiene de captarlo del medio ambiente, concentrarlo y utilizarlo, lo que se define como metabolización del elemento (Alcívar *et al.*, 2011).

2.1.1.1 ORÍGEN NATURAL

La contaminación natural consiste en la presencia de determinadas sustancias en el agua sin que intervenga la acción humana. La erosión y la lixiviación química de suelos y roca constituyen la aportación más importante por procesos de origen natural (Alcívar y Mosquera, 2011).

Para Rizzo *et al.* (2010) las concentraciones naturales de metales en ecosistemas acuáticos dependen de su distribución, meteorización y lixiviación en el área de la cuenca. Las principales fuentes naturales de elementos traza son la meteorización y el lixiviado de las rocas y suelos de la cuenca, el aporte puntual de posibles manifestaciones minerales expuestas, los incendios forestales y de pastizales extendidos, y los aportes por emisiones volcánicas.

2.1.1.2 ORÍGEN ANTROPOGÉNICO

Marti *et al.* (2011) afirman que los metales pesados provienen de diferentes fuentes como consecuencia de la actividad antropogénica: combustibles, aerosoles urbano, industriales, desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, industria minera, química, textil, productos químicos empleados en el sector agropecuario. Además, está comprobado que son fuentes de contaminación de suelos agrícolas los agroquímicos en general, los fertilizantes fosfatados en particular, los cohetes utilizados en la lucha antigranizo y los abonos orgánicos.

Por otro lado, Tulonen *et al.* (2006) afirman que las actividades humanas, tanto industriales como urbanas, así como las prácticas agrícolas, pueden incrementar la carga de metales pesados en los ecosistemas acuáticos o alterar sus ciclos naturales al producir concentraciones elevadas en algún compartimento particular.

2.1.2 MOVIMIENTO DE RESIDUOS DE METALES PESADOS EN EL AMBIENTE

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio 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 (Álvarez y Amancio, 2014).

En general, el orden de acumulación de metales pesados en la red trófica es como sigue: capa biológica=sedimentos>invertebrados>peces (Deacon y Driver, 1999). Aunque las concentraciones absolutas de metales están más elevadas en la capa biológica y sedimentos, se ha cuestionado que los metales se biomagnifiquen en peces.

2.1.3 FACTORES QUE AFECTAN LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN LOS ORGANISMOS ACUÁTICOS

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 físico-químicas 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 (Deacon y Driver, 1999).

2.1.3.1 VÍA DE ENTRADA DE LOS METALES PESADOS: INGESTA Y ABSORCIÓN DE AGUA

Las branquias son el principal lugar de ingreso para sustancias disueltas en el agua. Este tejido está expuesto a cantidades mucho mayores de tóxicos que los pulmones de un animal terrestre. En las branquias el agua y la sangre fluyen a contracorriente, el epitelio es muy delgado, sólo dos capas de células, con una gran área de contacto. Hay tóxicos que son principalmente absorbidos de los alimentos y otros del agua respirada. Por ejemplo; el 90% del mercurio acumulado en los peces entra vía la ingesta (Deacon y Driver, 1999).

2.1.3.2 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. (Alvarez y Amancio, 2014).

2.1.3.3 CONCENTRACIÓN DE SALES EN AGUA

El Calcio sobre todo y menos el Magnesio, compiten con los mismos sitios de unión que los metales pesados, sobre todo en las branquias de los peces. De esta forma existirá una relación negativa entre los iones de Ca y Mg del agua (dureza) y la asimilación de metales pesados (Deacon y Driver, 1999).

2.1.4 CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR METALES PESADOS

La contaminación de las aguas se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por el aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. Uno de los componentes químicos potenciales más tóxicos son los metales pesados, y entre ellos Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn. El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico o geoquímico a partir de los minerales que, por causa de erosión, lluvias, etc, son arrastradas al agua. No obstante, actualmente la mayor concentración es de origen antropogénico (Realpe, 2009).

Barros (2016) indica que en la actualidad se estima en más de un millón de sustancias diferentes que son introducidas en las aguas naturales a través de los vertidos antropogénicos. Muchas de ellas no son tóxicas, si bien pueden alterar las características organolépticas del agua, perturbar severamente el ecosistema y/o ser directamente nocivas para el hombre.

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales, agrícolas e industriales que van directamente hacia los ríos y lagos de cuencas hidrológicas. Sin embargo, también se relacionan con la lixiviación de desechos inorgánicos, descargas sólidas de residuos peligrosos y basuras domésticas e industriales, que afecta a los cuerpos de agua (Macías, 2015).

2.2 MERCURIO

De acuerdo a Yarto *et al.* (2004) el mercurio es un compuesto químico ampliamente utilizado desde la Antigüedad para diversos fines. Actualmente se utiliza en la industria, principalmente en la minería, la siderurgia, la producción de cloro. La peligrosidad de este compuesto radica en su elevada toxicidad y que puede ser asimilado por los seres vivos.

Desde el inicio de la era industrial los niveles de mercurio (Hg) en el ambiente han aumentado considerablemente, hasta alcanzar concentraciones que afectan los ecosistemas y la salud humana. El mercurio es un metal pesado, plateado, ubicuo y líquido a temperatura ambiente. En su forma pura se lo conoce como mercurio elemental (Hg). Éste se volatiliza fácilmente formando vapores incoloros e inodoros (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002).

Entre los metales pesados más tóxicos se encuentra el mercurio (Hg), causante de muchos problemas ambientales y de salud (Mero, 2010). Una vez en el agua, el mercurio sufre un proceso de biotransformación por la acción de los microorganismos, convirtiéndose en especies químicas más peligrosas, como sus derivados orgánicos (Gaona y Valiente, 2002). Estas especies son posteriormente adsorbidas y acumuladas por los organismos vivos o pasan a los sedimentos

costeros, e ingresan a la trama trófica, donde pueden ocurrir procesos de bioconcentración y bioacumulación hacia los consumidores (Costa, 2012).

Para Ortega *et al.* (2003) el mercurio es utilizado por el hombre desde hace siglos como colorante para adornar tumbas (por lo llamativo del color rojo en su estado natural), como medicina para el tratamiento de la sífilis, como diurético y como catártico. Numerosos grupos étnicos lo han empleado con fines mágicos o religiosos. En cuanto a su repercusión sobre la salud humana cabe mencionar la intoxicación crónica y en masa por exposición a altas dosis de metilmercurio (MeHg) ocurrida en Japón, donde la Chisso Corporation, una empresa de fertilizantes, petroquímicos y plásticos, vertió toneladas de compuestos de mercurio en la bahía de Minamata entre 1932 y 1968, esto propició la formación de MeHg (la forma más tóxica de este metal) y su paso a la cadena biótica a través de la bioacumulación y biomagnificación en los peces. Así, la población autóctona consumidora de pescados resultó afectada. Los recién nacidos desarrollaron lo que después se conoció como la enfermedad de Minamata, caracterizada por trastornos del neurodesarrollo. La población adulta manifestó síntomas neurológicos: ataxia, temblores, trastornos cognitivos y neurosensoriales (Gaioli *et al.*, 2012).

El mercurio es considerado uno de los tóxicos ambientales más peligrosos entre los metales pesados, cuya presencia en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos umbrales críticos que dependen, fundamentalmente, de un conocimiento de las relaciones dosis efecto y dosis respuesta (Piña *et al.*, 2012).

La principal fuente de contaminación ambiental con mercurio es la desgasificación natural de la corteza terrestre, la cual aumenta anualmente. Las industrias que utilizan el mercurio y sus compuestos (productoras de compuestos alcalinos del cloro, equipos eléctricos y pinturas), son la principal fuente antropogénica de mercurio, contaminando la atmósfera, las aguas y los suelos (Moreno *et al.*, 2013).

Los compuestos de mercurio como el dimetilmercurio, son de particular interés debido a que frecuentemente son volátiles, son rápidamente acumulados por las células y tóxicos al afectar el sistema nervioso central de las aves y mamíferos principalmente. Aunque la estabilidad de los complejos metal carbón en soluciones acuosas decrece desde el Ge (32) hasta el Pb (82), el Hg (80) es capaz de formar uniones estables con el carbón, dando origen a verdaderos compuestos organometálicos (Morgan y Stumm, 1991).

2.2.1 PRINCIPALES FUENTES DE LIBERACIÓN DEL MERCURIO

Costa, 2012 menciona que las fuentes naturales son liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la actividad volcánica o la erosión de las rocas.

Liberaciones antropogénicas resultantes de la presencia de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles (carbón, gas, petróleo y otros minerales

extraídos, tratados y reciclados). El 85% de las emisiones de Hg antropogénicas provienen de esta fuente. La absorción del mercurio por parte de las plantas puede explicar la presencia de Hg en los combustibles fósiles que se han formado por transformación geológica de residuos orgánicos. También producen liberaciones las industrias cloroalcalinas de fabricación del papel, instrumental médico (termómetros, esfigmomanómetros, bujías, amalgamas dentales), termostatos, lámparas fluorescentes, cementeras, faros de automóviles, tratamiento de desechos, vertederos, cremación y pinturas. Antiguas liberaciones antropogénicas de Hg depositadas en suelos, sedimentos, agua, vertederos y acumulaciones de desechos, que pasan nuevamente a la atmósfera formando parte de los ciclos biológicos.

Los hospitales contribuyen en aproximadamente 4-5% del total de mercurio presente en las aguas residuales. La incineración de residuos médicos ocupa el cuarto lugar entre las principales fuentes de contaminación con mercurio.

En el agua y en el suelo, bacterias metanógenas, a través de un proceso de metilación, transforman el Hg en MeHg, la forma más tóxica de este metal. Esta modificación lo hace más lipofílico, por lo cual se acumula fácilmente en la cadena trófica animal. El MeHg se une a las proteínas de las algas y del plancton. Los peces se alimentan de ellos. Cuando otros animales y el hombre ingieren estos peces contaminados, comienza el proceso de biomagnificación. Así, la dieta constituye la principal fuente de exposición para el hombre (Organización Mundial de la Salud, 2005).

2.2.2 FORMAS QUÍMICAS: ESPECIACIÓN DEL MERCURIO

A las diversas formas del mercurio existentes se las conoce como especies. La especiación desempeña un papel importante en la toxicidad y exposición al mercurio de organismos vivos.

La especie influye en los siguientes aspectos:

- La disponibilidad física, que determina el impacto de la exposición.
- Distribución en los tejidos (a mayor liposolubilidad, mayor capacidad para atravesar las barreras biológicas).
- Su toxicidad.
- Su acumulación, biomodificación y excreción.
- Su biomagnificación.

El nivel de toxicidad en seres humanos varía según la forma química, la concentración, y la duración, la vía y la ventana de vulnerabilidad en el momento de la exposición (Clifton, 2007).

El mercurio inorgánico es un elemento constitutivo de la tierra, la mayoría de los compuestos inorgánicos de Hg son polvos o cristales blancos, puede encontrarse

en cosméticos, antisépticos, antibacterianos, diuréticos y catárticos en detonadores de explosivos y pigmentos de pintura, cuando el mercurio se combina con carbono se forman los compuestos orgánicos como el Etil-Hg, Dimetil-Hg, Me-Hg. Este último es, como ya se mencionó la forma conocida más tóxica para el ser humano, siendo el pescado y los mariscos las mayores fuentes de exposición en este estado (Viccelio, 1998).

2.2.3 EFECTO DEL MERCURIO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

La presencia de trazas de mercurio en agua se debe principalmente a los residuos de actividades productivas como la minería y la industria, además de las debidas a causas naturales por fenómenos geológicos como la meteorización, la erosión de las rocas y la lixiviación. La interacción de este metal con el ecosistema depende de la forma y especie química en la que se encuentre, además de otros factores como el pH, las condiciones de óxido-reducción del agua, la presencia de sustancias orgánicas con capacidad de formar complejos químicos y diversos factores climáticos que potencian el estrés químico (Posada y Arroyave, 2006).

El mercurio es uno de los metales pesados que mayor preocupación está causando en el mundo por su acción sumamente tóxica para los organismos y para el hombre. Se considera poco peligroso en forma metálica y en sales minerales, pero en compuestos orgánicos su acción se torna muy tóxica para el hombre como último consumidor de pescados y mariscos, que tienen la propiedad de acumularlo en sus tejidos (Roldán, 1992).

La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2005) considera que el berilio (Be) y el mercurio (Hg) son dos de los elementos más peligrosos, es decir, que son muy perjudiciales aun en pequeñas cantidades. De acuerdo con lo reportado por el Consejo de Defensa de los Recursos Naturales, el mercurio funciona como una neurotoxina una vez dentro del cuerpo humano, interfiriendo con el cerebro y el sistema nervioso. La exposición al mercurio antes del nacimiento y durante la infancia puede causar retraso mental, parálisis cerebral, sordera y ceguera. Incluso en dosis pequeñas, el mercurio puede afectar el desarrollo del niño, puesto que causa déficit de atención y problemas de aprendizaje. En los adultos, el envenenamiento por mercurio puede afectar adversamente la fertilidad y la regulación de la presión arterial, a más de causar pérdida de la memoria, temblores, pérdida de la visión y entumecimiento de los dedos de manos y pies.

El mercurio, cuando llega a la naturaleza y ha transcurrido un tiempo, es transformado a metilmercurio (CH_3Hg^+). La diferencia entre el mercurio simple y el metilmercurio es muy importante, ya que esta segunda molécula es una forma orgánica, que se acumula en el organismo, sobre todo en el sistema nervioso. Además, esta sustancia produce sinergia con otras sustancias, aumentando sus efectos nocivos. Este proceso de transformación a mercurio orgánico se llama metilación, por medio de la cual se da lugar a la movilización del mercurio. El metilmercurio, al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble, y, en consecuencia, presenta una elevada toxicidad, puesto que puede atravesar

fácilmente las membranas biológicas y en particular la piel, y a partir de aquí sigue la incorporación del metal en la cadena trófica (Posada y Arroyave, 2006).

Algunos organismos acuáticos tienden a bioacumular metales pesados a concentraciones superiores a las del medio, este problema de bioacumulación se ve exacerbado por la biomagnificación de estos elementos en su paso a través de la cadena trófica (Alcívar y Mosquera, 2011).

La captación y toxicidad de los metales pesados para los organismos acuáticos están influenciados no solo por su concentración, también son relevantes el tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del ambiente. Los principales factores que afectan el ingreso de metal en los organismos acuáticos son su forma química, la presencia de otros metales, el pH, la salinidad, la especie animal y la fase del ciclo de vida (Castañé *et al.*, 2003).

De acuerdo con Wang *et al.* (1996), la acumulación de metales por los organismos acuáticos se presenta en un proceso que consiste en dos pasos: un primer paso de adsorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción), seguido por un segundo paso de transporte lento e irreversible, controlado por difusión al interior de la célula (bioacumulación), que puede ser por difusión del ion metálico a través de la membrana celular o por transporte activo por una proteína transportadora.

En las plantas, los efectos de los metales empiezan en la raíz, ya que este es el órgano responsable de asimilar los nutrientes del medio, y afectan sucesivamente el resto de la planta. En las hojas se producen graves daños en los cloroplastos y las mitocondrias, lo que altera los procesos de fotosíntesis y de respiración. En una fase más avanzada de alteración se producen intensos cambios metabólicos y de regulación celular, y ocurre finalmente el estímulo de la senescencia por acumulación crónica del metal pesado, lo que puede resultar en la muerte de la planta (Posada y Arroyave, 2006).

Como consecuencia de la persistencia de los contaminantes en los ecosistemas acuáticos se dan los procesos de bioacumulación y la posterior bioconcentración. La USEPA (2005) define la bioacumulación como la absorción y retención de productos químicos por un organismo en su alimento y su ambiente, lo que genera un incremento de la concentración de dicha sustancia en el organismo comparada con su concentración en el ambiente. Los compuestos se acumulan en los cuerpos vivos, una vez que son tomados y almacenados, con más rapidez de lo que pueden ser metabolizados o excretados. Los compuestos que se bioacumulan se concentran sucesivamente en cada nivel de la cadena alimenticia.

La bioconcentración es descrita por la USEPA (2005) como el proceso que resulta de la acumulación de un producto químico en un organismo a niveles más altos que los encontrados en su alimento. Esto ocurre cuando un compuesto químico comienza a concentrarse en un porcentaje cada vez mayor en su paso por la cadena trófica. Al final de la cadena alimenticia, entonces, un consumidor de tercer orden puede acumular por medio de su comida una concentración mucho mayor que la presente en un organismo de un nivel inferior en la cadena.

Los pasos de la bioconcentración los describe Marcano (2003) de la siguiente manera: los productores toman los nutrientes inorgánicos de su ambiente, y debido a que una deficiencia de estos nutrientes puede limitar el crecimiento del productor, los productores harán el mayor esfuerzo para obtenerlos; con frecuencia, gastan considerable energía para incorporar los nutrientes en sus cuerpos, incluso incorporan más de lo necesario en el momento y lo almacenan. El problema se presenta cuando un producto contaminante, como el mercurio, se presenta en el ambiente. Este contaminante se asemeja químicamente a nutrientes inorgánicos esenciales, por lo que son incorporados y almacenados "por error". En este primer paso el contaminante se encuentra en una concentración mayor dentro del productor que en el ambiente (Posada y Arroyave, 2006).

La segunda etapa sucede cuando los organismos productores (planta o alga) pasan a los consumidores en la cadena trófica (alimenticia). Dado que un consumidor (de cualquier nivel) tiene que consumir mucha biomasa del nivel trófico inferior, si esa biomasa contiene el contaminante, éste será consumido en grandes cantidades por el consumidor. Los contaminantes que se bioconcentran tienen otra característica: no solamente son adquiridos por los productores, sino que también son absorbidos y almacenados en los cuerpos de los consumidores. Estos materiales se adquieren por medio de los productores y pasan a la grasa de los consumidores. Si el consumidor es capturado y comido, su grasa es digerida y el contaminante se traslada a la grasa del nuevo consumidor de nivel trófico superior. De esta manera, aumenta la concentración del contaminante en los tejidos grasos de los consumidores. Usualmente los contaminantes solubles en agua no pueden bioconcentrarse de esta manera, debido a que se disuelven en los fluidos corporales del consumidor. Ya que todos los organismos pierden agua, los contaminantes se pierden junto con el agua. Pero la grasa no se pierde (Posada y Arroyave, 2006).

2.2.4 EFECTOS DEL MERCURIO SOBRE LA SALUD HUMANA

La contaminación industrial, tecnológica, agropecuaria, minera y el uso indiscriminado de diversos fertilizantes químicos en el suelo con metales pesados, que se incorporan finalmente a ríos, a los vegetales, animales y alimentos alteran la sostenibilidad de la cadena trófica, provocando riesgos potenciales en la naturaleza y en la sociedad, debido a que originan serios problemas en la salud humana y animal (Waisberg *et al.*, 2013).

Con base en Londoño *et al.* (2016) la presencia en un alto porcentaje de metales pesados como: el plomo, mercurio, cadmio, arsénico entre otros, en el ambiente contribuye en aumentar los índices de la problemática mencionada. Algunos metales pesados forman complejos solubles y son transportados y distribuidos a los ecosistemas hasta incorporarse en la cadena trófica (suelo, agua, plantas, semillas y forrajes), primordialmente aquellos procedentes de áreas contaminadas (García *et al.*, 2012).

Eróstegui(2009) menciona que cada metal y cada elemento químico contaminante tienen un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. Es importante considerar que los seres vivos requieren pequeñas cantidades de estos metales,

por ejemplo (cobre, zinc, hierro, etc.) para varias funciones biológicas. Sin embargo, una escasa o excesiva concentración de éstos pueden alterar procesos bioquímicos y/o fisiológicos en el organismo (Molina *et al.*, 2013). Y realmente lo que hace tóxico a los metales pesados no son sólo sus características químicas, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y más importante aún, el tipo de compuesto o metabolito que forman, por ejemplo el metilmercurio (Abrahams, 2012).

Soo *et al.* (2013) indican que la intoxicación crónica por mercurio se presenta temblores, hipertrofia de tiroides, taquicardia, gingivitis, cambios en la personalidad, eretismo, pérdida de memoria, depresión severa, delirios y alucinaciones. Los tres rasgos más usados para reconocer la enfermedad profesional en la industria son la excitabilidad, los temblores y la gingivitis. Además, hay daño renal por exposición crónica al mercurio, efectos reversibles, que cesan cuando la persona evita exponerse.

La neurotoxicidad se manifiesta con temblores y pérdida de sensibilidad en dedos de ambas extremidades, ataxia, pérdida de visión y audición, espasmos y finalmente coma y muerte (Li *et al.*, 2010).

- **Exposición aguda**

Efectos neurológicos: puede presentarse con parestesias, ataxia, sordera, alteraciones visuales, temblores, espasticidad muscular y muerte.

Renales: puede ocasionar necrosis tubular aguda y glomerulonefritis, y evolucionar a la insuficiencia renal (Holmes *et al.*, 2010).

- **Exposición crónica**

Efectos neurológicos: las alteraciones más preocupantes de la exposición crónica al MeHg se asocian con la mayor vulnerabilidad del cerebro fetal e infantil. Se lo considera un potente agente teratógeno que puede ocasionar alteraciones cerebrales estructurales y funcionales. La exposición del lactante puede ocasionar disminución del coeficiente intelectual y retardo mental. En los últimos años se ha asociado fuertemente la exposición al mercurio con el autismo. La activación crónica de la microglía se considera un marcador del espectro autista. La estimulación inmunológica, el mercurio y los niveles elevados de andrógenos podrían estimular la activación e inflamación de la microglía.

Cardiovasculares: se asocia con mayor riesgo de enfermedad cardiovascular. La exposición prenatal se ha asociado a hipertensión arterial durante la infancia.

Carcinogénicos: la International Agency of Research Cancer ha clasificado a los compuestos orgánicos del mercurio como pertenecientes al Grupo 2B probados efectos cancerígenos en animales de experimentación y posibles en seres humanos (Boffeta, 1993).

2.3 AGUA

Córdoba *et al.* (2010) afirman que el agua es uno de los bienes más preciados para la vida en el planeta. Es fundamental para satisfacer las necesidades humanas básicas, la salud, la producción de alimentos, el desarrollo industrial, la energía y el mantenimiento de los ecosistemas regionales y mundiales. El agua cubre más del 70 % de la superficie del planeta; se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo.

Los océanos dan cuenta de casi el 97,5 % del agua del planeta. Únicamente un 2,5% es agua dulce, los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares representan casi el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua de superficie accesible rápidamente sólo el 1% (Fernández, 2012).

2.4 CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES

La calidad del agua corresponde a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, propiedades que al ser afectadas repercuten tanto sobre las comunidades humanas como la vida vegetal y animal. (Commission for Environmental Cooperation, 2009).

Según Barrenechea (2004) el término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Stachetti (2007), señala que las aguas superficiales comprenden el agua de lluvia, escorrentías, caudal freático que aflora, la cual se refiere a manantiales superficiales o fuentes de agua, se debe tener en cuenta que tanto las entradas como las salidas pueden contribuir con la aparición de distintos compuestos que se reflejan en la calidad del agua.

2.5 CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Al hablar de contaminación de agua superficial, se puede decir que se trata de una gran concentración de agentes, sustancias, cuerpos que afectan el agua superficial y provocan ciertos efectos en la calidad de la misma, en un tiempo determinado (Marroquin, 2013).

Entonces la contaminación de agua se conoce como introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos y lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudiquen los recursos vivos, constituyan un peligro para la salud humana, obstaculicen las actividades marítimas (incluida la pesca), menoscaben la calidad del agua o disminuyan los valores estéticos y de recreación (Orta, 2002).

2.6 SEDIMENTO

La mayor parte de los sedimentos consisten o son productos de la descomposición a la intemperie de rocas preexistentes, esta masa contiene minerales detrítales y minerales nuevos formados después del transporte y separación del tamaño del grano en suspensión y sedimentación; Posteriormente a la reconstitución diagenética, ellos forman arcilla y arena. El análisis y la descripción de los procesos en ambientes sedimentarios han sido ampliamente definidos sobre la base de la distribución de la frecuencia del tamaño de grano (Sanchez *et al.*, 2008).

Los sedimentos están constituidos principalmente por la fracción sedimentable, orgánica y mineral de los sólidos suspendidos y por los desechos celulares de la actividad bacteriana, producidos en la oxidación de compuestos orgánicos biodegradables que ingresan al cauce por aporte de aguas domésticas y escorrentía superficial (Del Castillo, 2008). El aumento en el caudal y los cambios en la dinámica fluvial de los cuerpos de agua superficial pueden afectar drásticamente la configuración de su lecho, así como la distribución del sedimento, las plantas y la fauna a lo largo del cauce, generando problemas en el establecimiento de modelos aplicados a la hidroquímica de las corrientes naturales (Herrera *et al.*, 2011).

2.7 SEDIMENTOS Y METALES PESADOS

El estudio de la presencia de metales pesados en aguas de ríos y sedimentos, contribuye un aporte a la disposición de información de carácter ambiental de dichos ríos y contribuirá al diagnóstico de cada una de sus cuencas y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones sobre todo de carácter gubernamental (Contreras *et al.*, 2004).

Para este propósito es indispensable analizar tanto el agua como los sedimentos, debido a que los metales tienden a depositarse en los sedimentos de los ríos aun cuando las concentraciones en agua sean bajas (Soto *et al.*, 2011). Los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales a las zonas costeras, al ser transportados en el arrastre de materiales desde la cuenca media y alta (Guanes *et al.*, 2015).

Los metales pesados provienen en gran medida de fuentes antropogénicas, como desechos domésticos, agrícolas e industriales, y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano, así como un factor de deterioro ambiental. Estos elementos se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Acosta *et al.*, 2002).

2.8 CUENCA HIDROGRÁFICA

Las cuencas hidrográficas son divisiones naturales del paisaje. Debido a la topografía y delimitación del parteaguas, el agua drena a través de corrientes superficiales a un punto común pudiendo desembocar en el mar, en un cuerpo de agua interior o infiltrarse antes de encontrar algún cuerpo o superficie colector (Cotler *et al.*, 2007). Se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

2.9 MICROCUENCAS

Cloter (2004) menciona que las microcuencas son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al recurso agua tales como escorrentía, calidad, erosión hídrica, producción de sedimentos, etc., normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas.

2.10 RÍOS Y QUEBRADAS

Corriente natural de agua continua que desemboca en otra similar, en un lago o en el mar. Cuando un río desemboca en otro, se lo conoce como afluente (Sanchez y Maza, 2000).

2.11 EMBALSE

De acuerdo con Ledesma *et al.* (2013) los embalses son reservorios de agua utilizados para satisfacer varias necesidades del medio ambiente y la sociedad. Entre las más destacadas figuran la generación de energía, la provisión de agua para consumo humano, animal y riego, la atenuación de crecientes, la recarga de napas subterráneas, la provisión de hábitat para una gran cantidad de especies animales y vegetales.

El deterioro del estado ecológico de las aguas continentales (embalses y lagos) ha sido un problema creciente en los últimos años. Numerosos factores naturales y humanos contribuyen al incremento en la concentración de sustancias ópticamente activas en el cuerpo de agua, así como también un incremento en la turbidez y temperatura de la misma. Estos procesos pueden conducir a “blooms” algales, anoxia y hasta un deterioro dramático de la calidad del agua (Polvorinos *et al.*, 2005).

Estos sistemas constituyen un importante elemento paisajístico en las ciudades, incrementan la calidad de vida de los habitantes y prestan diferentes servicios ecosistémicos como regular el clima urbano, servir de sumideros de aguas lluvias, zonas de pesca y acuicultura, así como fuentes de agua potable y hábitat para una variedad de especies de flora y fauna (Oertli *et al.*, 2009).

2.12 TULSMA LIBRO VI

La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.
- Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente Norma (TULSMA, 2003).

2.12.1 CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como: bebida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios y fabricación o procesamiento de alimentos en general.

Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional (VER ANEXO 3.A).

2.12.2 CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS DE USO AGRÍCOLA O DE RIEGO

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma (VER ANEXO 3.B).

2.13 NORMATIVA INTERNACIONAL CANADIAN SEDIMENT QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE

Directrices canadienses sobre sedimentos para la protección de vida se están desarrollando bajo los auspicios de la Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME). Los problemas de calidad de los sedimentos se han convertido en un enfoque importante en la evaluación ambiental, protección y manejo de ecosistemas acuáticos

Históricamente, las actividades de calidad del agua fueron motivadas por preocupaciones por la salud humana (p. ej., calidad del agua potable directrices), pero la atención ha cambiado en los últimos años hacia la protección de otros componentes del ecosistema (por ejemplo, sedimentos, suelo) y otros usos del agua. Estos usos del agua incluyen vida acuática marina y de agua dulce, recreación y estética, riego y riego de ganado, e industrial y suministros de agua. En Canadá, la calidad del agua aceptable para la protección de estos usos ha sido evaluada contra la directrices canadienses sobre la calidad del agua. Directrices de calidad del sedimento para la protección de aguas la vida se utilizará de forma complementaria para evaluar calidad del sedimento.

En dicha guía, por cada elemento, son reportados dos límites: el ISQG (International Standard for Quality Guidelines) que representa un límite guía para la salud humana y la vida acuática; y el PEL (Probable Effect Level). El ISQG es el valor más conservativo, mientras el PEL es definido como el límite mínimo en el cual hay algunos efectos sobre la vida acuática.

- Concentración en los sedimentos < ISQG = Efectos biológicos raros
- Concentración en los sedimentos > ISQG, < PEL= Efectos biológicos ocasionales
- Concentración en los sedimentos > PEL= Efectos biológicos frecuente

Los límites son reportados en la tabla siguiente:

Elemento	Unidades	ISQG	PEL
Arsénico	mg/kg	5,9	17
Cadmio	mg/kg	0,6	3,5
Cromo total	mg/kg	37,3	90
Cobre	mg/kg	35,7	197
Plomo	mg/kg	35	91,3
Mercurio	mg/kg	0,17	0,486
Zinc	mg/kg	123	315

Los sedimentos se analizan porque representan la memoria de un río: si se tiene una contaminación puntual, después de una fuerte lluvia los contaminantes se diluyen y fluyen, mientras en los sedimentos se puede todavía medir la concentración de los contaminantes, allí atrapados en las partículas (Source, 2013).

2.14 MONITOREO DEL AGUA

El monitoreo de un río consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua a través de varias observaciones o estudios (Carrera y Fierro, 2001).

2.15 ESTACIONES DE MUESTREO

Comprende las estratificaciones definidas a lo largo del área a investigar que permite obtener muestras representativas del recurso a evaluar en función de sus características fluviales y accesibilidad (Carrera y Fierro, 2001).

2.16 MUESTREO DE SEDIMENTOS

Pineda (2009) menciona que los sedimentos de un sistema acuático reflejan la calidad ambiental del agua, así como las variaciones temporales de ciertos parámetros hidrológicos y químicos. Los depósitos sedimentarios son importantes en la identificación, monitoreo y distribución de metales traza contaminantes, debido a que estos metales son fijados en los sedimentos por las arcillas, óxidos hidratados de Fe, Mn y Al, carbonatos y materia orgánica.

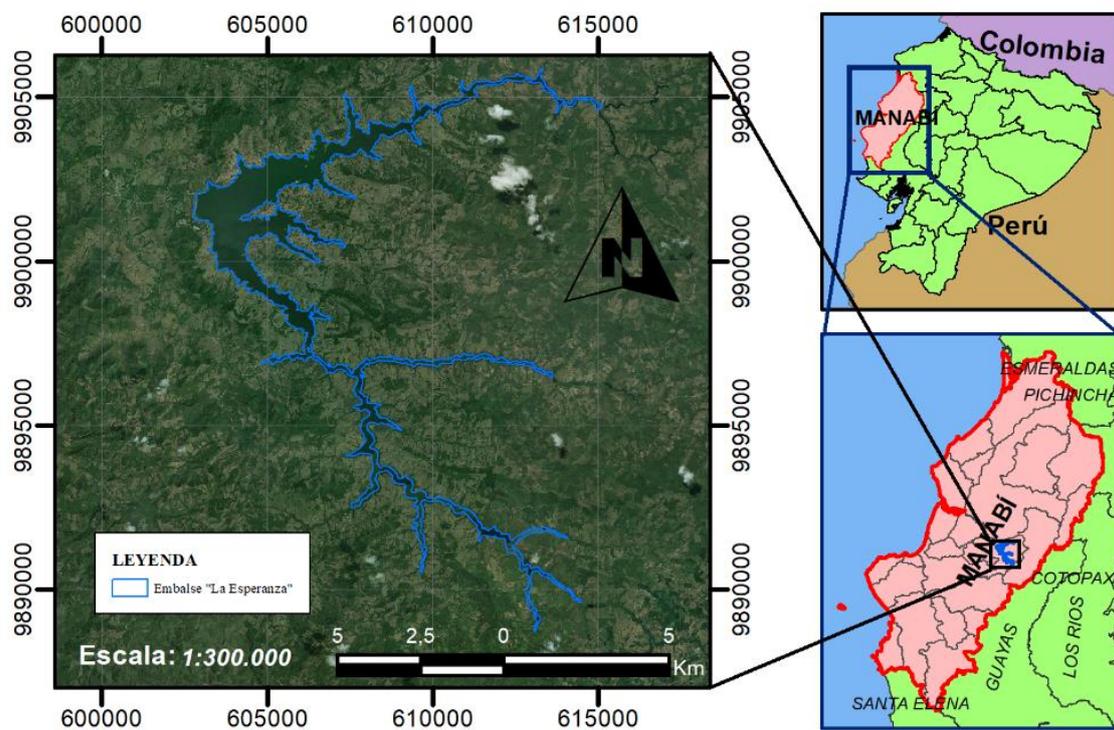
2.17 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG o GIS, por sus siglas en inglés) constituyen una importante herramienta de trabajo para la investigación y la planificación, no sólo en el campo académico sino también en el dominio técnico a diversos niveles de organización espacial y territorial, bien sea de carácter público, privada, científico o militar. Dada su gran capacidad para el almacenamiento y manipulación de grandes volúmenes de datos espaciales georeferenciables, los SIG facilitan el análisis y la toma de decisiones. No obstante, la calidad y exactitud de los sistemas de información dependen de la organización, equipamiento y personal responsable para su manejo y mantenimiento (Gómez, 2006).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN

La investigación se realizó en el embalse La Esperanza, ubicada en la microrregión centro norte de Manabí, a 11 kilómetros de la ciudad de Calceta y que almacena 450 millones de m³ de agua, nació de un estudio provincial hecho por una misión alemana en los años 50 del siglo pasado, (BioManabí, 2012). Según Moreira, J y Sabando, B. (2016), el embalse se forma por los afluentes de los ríos: Grande, Caña Grande y Barro, ubicado en la parroquia Quiroga del cantón Bolívar, aproximadamente a 12 kilómetros de la cabecera cantonal Calceta.



3.2 DURACIÓN

La presente investigación se ejecutó durante 9 meses desde el mes de julio del 2017 hasta el mes de abril del 2018.

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue de tipo cuantitativa no experimental, por cuanto se aplicó el método de análisis, para lograr caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta. Se combinaron criterios de comparación que sirvieron para representar datos fidedignos, que se pueden aprovechar para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad.

3.4 VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Efecto probable sobre la vida acuática.

3.4.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

Concentración de mercurio en agua y sedimento.

3.5 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la presente investigación, se establecieron 3 fases y cada fase con sus respectivas actividades realizadas, las cuales se detallan a continuación.

3.5.1 FASE 1. DEFINICIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

Actividad 1. Establecimiento de las características fisiográficas del área en estudio.

Conforme al reconocimiento del área de estudio, se establecieron cinco puntos de muestreo en zonas estratégicas que presentaron una mayor susceptibilidad a cambios ambientales (VER ANEXO 1.A), 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.

Actividad 2. Determinación de los puntos de muestreo.

Una vez establecidos los puntos de muestreo se realizó su georreferenciación. Para lo cual se utilizó como herramienta el programa ArcGis y se efectuó la representación cartográfica (imagen satelital, mapa de isoyeta, mapa isoterma, mapa hidrológico, mapa de división política y mapa de las cuencas que tributan al embalse La Esperanza) del área muestreada.

3.5.2 FASE 2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.

Actividad 3. Toma de muestra de agua y sedimento.

Muestreo de mercurio en agua

Las muestras de agua fueron tomadas en las cinco estaciones de muestreo establecidas, realizando un monitoreo durante los meses de agosto y octubre. Estas muestras fueron tomadas superficialmente en recipientes de vidrio de 400 ml esterilizados y enjuagados con agua desionizada, después de la toma de las muestras se colocaron bajo refrigeración para su conservación y entrega a los laboratorios donde se realizó la determinación de concentración de Hg (VER ANEXO 1.G).

De acuerdo a las metodologías de Murgueitio, *et al.*, (2015) y Litter, *et al.*, (2009), para la toma de las muestras de agua se utiliza tubos de vidrio Pyrex. Además, para la descontaminación de los frascos a ser empleados en la recolección, recomiendan llenar el frasco con ácido nítrico 10% v/v, dejándolo en inmersión por lo menos durante 24 horas.

Litter, *et al.*, (2009) hace las siguientes recomendaciones, independientemente del objetivo del plan de muestreo:

- La muestra no debe incluir partículas grandes, desechos, hojas u otro tipo de material accidental, salvo cuando se trate de muestras de sedimentos.
- Para minimizar la contaminación de la muestra, se recolecta con la boca del tubo contra la corriente.
- Se toma un volumen suficiente de muestra para eventuales necesidades de repeticiones.
- Se limpiaran conscientemente los frascos, y demás materiales de recolección. Es importante recordar, que en gran parte de los casos, la contaminación de los frascos no es visible, ni siquiera al microscopio.
- La parte interna de los frascos no se toca con la mano, ni queda expuesta al polvo, humo u otras impurezas.
- En la recolección se mantienen las manos limpias y se usa guantes.
- Los frascos se llenan completamente e, inmediatamente después de la recolección.
- Las muestras se conservan fuera del alcance de la luz solar y si exigen refrigeración para su preservación se acondicionan en cajas de poliestireno con hielo inmediatamente después de la recolección. No se debe añadir sal al hielo, para evitar una posible contaminación de las muestras.

Muestreo de mercurio en sedimentos

En el embalse La Esperanza, las muestras de sedimentos fueron colectadas mediante una draga de acero inoxidable, en los cinco puntos seleccionados. En Membrillo y Dos Bocas la recolección se la realizó a 15 m de profundidad, mientras que en Bejuco y Carrizal fueron tomadas a 10 m y en el centro del embalse a 35 m

(VER ANEXO 1.H). Estas muestras fueron almacenadas en cajas petrix y transportadas al laboratorio para su respectiva preparación.

De acuerdo a la metodología de Murgueitio, *et al.* (2015), se utilizó el método de mineralización en seco (VER ANEXO 1.H y 1.I). Para lo cual cada muestra de sedimento fue secada en una estufa durante 12 horas a una temperatura de 60 °C (VER ANEXO 1.J). Luego los sedimentos secos, fueron disgregados utilizando un mortero y pistilo, para después ser cernidos con un tamiz de 0,2 mm (VER ANEXO 1.K). Las muestras tamizadas (0,25 g) se atacaron con solución de Mg (NO₃)₂ al 1,0 M, HCl 1,0 M y KI 1,0 M, añadidos en proporción volumétrica de 1:5:5 respectivamente. Las soluciones se calentaron en la estufa durante 6 horas a 450 °C, y los residuos sólidos se disolvieron en 10 ml de HNO₃ al 1,0 M (VER ANEXO 1.L). Posteriormente las soluciones acidificadas se aforaron con agua desmineralizada hasta 25 ml (VER ANEXO 1.M) y se analizaron con el sistema de Espectrometría de Absorción Atómica por Generación de Hidruros (HG-AAS).

Actividad 4. Realización de los análisis de las muestras en laboratorio.

La determinación de la concentración de Mercurio en las muestras de aguas y de sedimentos se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción, en el Laboratorio del Medio Ambiente. Los análisis se efectuaron durante los meses de agosto y octubre (VER ANEXO 2.A y 2.B).

3.5.3 FASE 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO CON LA NORMATIVA VIGENTE NACIONAL E INTERNACIONAL.

Actividad 5. Análisis de los resultados de concentración de mercurio en agua.

Los resultados obtenidos en aguas superficiales se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), libro VI anexo 1 del Ministerio del Ambiente, según Decreto Ejecutivo 3516, publicado en el Registro Oficial N° 361, del Acuerdo Ministerial 061, de 4 de mayo del 2015.

Actividad 6. Interpretación de los resultados de la concentración de mercurio en sedimento.

Los resultados obtenidos en sedimentos se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la Normativa Internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life (Canadian Environmental Quality Guidelines, 2015). Estas guías para el mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) establecen dos valores: (1) el llamado Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG, por sus siglas en inglés, Interim Sediment Quality Guideline), que representa la concentración por debajo de la cual no se espera que ocurran efectos biológicos adversos, y (2) el llamado Nivel de

Efecto Probable (PEL, por sus siglas en inglés, Probable Effect Level), que es la concentración sobre la cual aparecen con frecuencia efectos biológicos adversos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO.

Inicialmente se realizó la representación cartográfica del embalse La Esperanza a través de los sistemas de información geográfica para efectuar los análisis respecto a la identificación de las estaciones en las que se detectó presencia de mercurio. Para la elaboración de los mapas se utilizó coordenadas planas UTM, referidas al WGS 84 Zona 17S.

De acuerdo al mapa de división política, el embalse La Esperanza se encuentra dentro del cantón Bolívar, provincia de Manabí, entre las principales micro cuencas tenemos Bejuco, Carrizal, Cañas, La Esperanza y Membrillo, los afluentes principales que tributan al embalse son los ríos Membrillo, Caña, Bejuco, Julian, Severino y Carrizal. Las características cartográficas nos muestra que el área del embalse La Esperanza correspondiente a la cota de 66 msnm es de 1604,56 hectáreas, la temperatura media alrededor de la zona d estudio varia entre 24-26°C y a su vez las precipitaciones medias anuales a lo largo de toda la cuenca aportante al embalse La Esperanza varían en rangos que va desde 1200-2500 mm (VER ANEXO 4).

4.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación, se detallan las coordenadas geográficas proyectadas en UTM donde se establecieron los puntos de muestreo:

Cuadro 4.1 Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

PUNTOS DE MUESTREO			
Nº	Sitio	X	Y
1	Bejuco	608079	9896943
2	Carrizal	607765	9896062
3	Dos bocas	615011	9904447
4	Membrillo	615235	9904722
5	Centro	604094	9901938

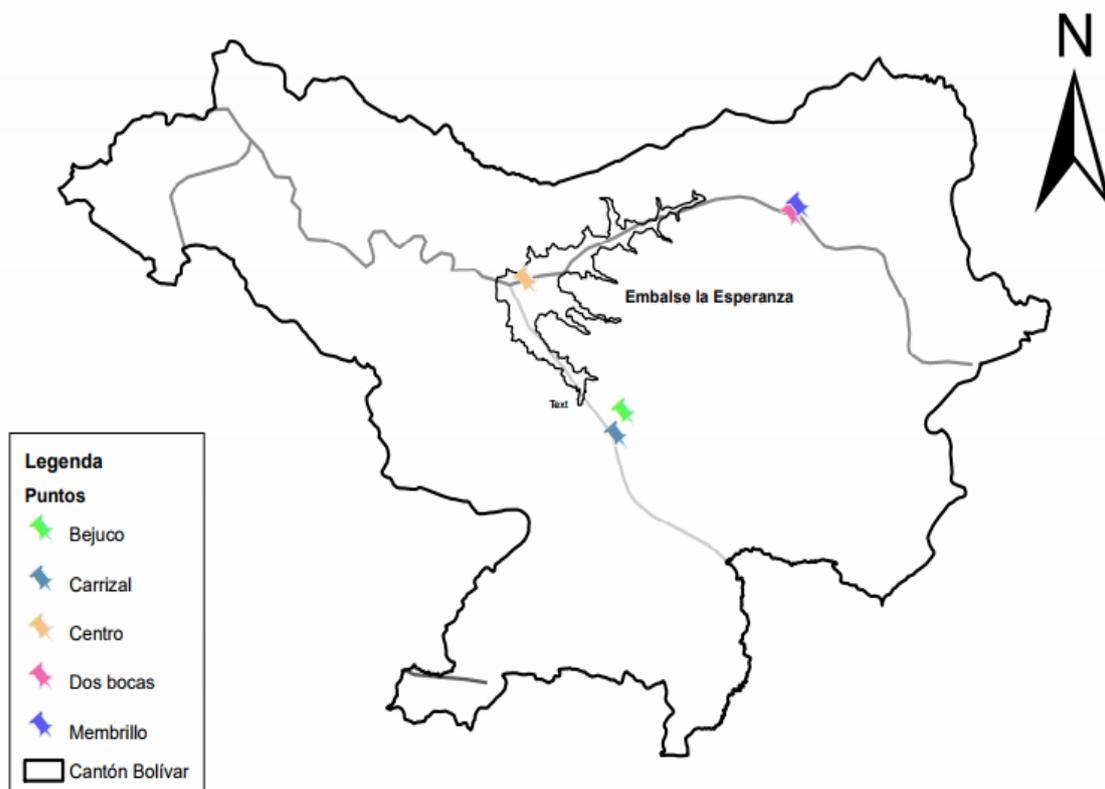


Figura 4.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el embalse La Esperanza

Se establecieron cinco puntos de muestreo de acuerdo a los criterios expuestos por Barreto *et al.* (2010) en el protocolo de monitoreo de la calidad del agua. El primer punto de muestreo se localizó en el río Bejuco, debido a que este recurso hídrico es el principal suministro para las actividades antropogénicas de las comunidades aledañas a este ecosistema (VER ANEXO 1.B). El río Carrizal fue el segundo punto de muestreo, considernado que es donde se unen todos los ríos de la microcuenca

del Carrizal y se realizan actividades como la pesca y el transporte en canoa(VER ANEXO 1.C).

El tercer y cuarto punto de muestreo ubicados en Dos Bocas y Membrillo respectivamente, debido a que representan una unidad natural importante para el crecimiento económico de las poblaciones circundantes a ellos(VER ANEXO 1.D Y 1.E). El quinto punto de muestreo fue en el centro del embalse La Esperanza(VER ANEXO 1.F)

4.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA.

Los resultados obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio de Medio Ambiente de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se muestran a continuación:

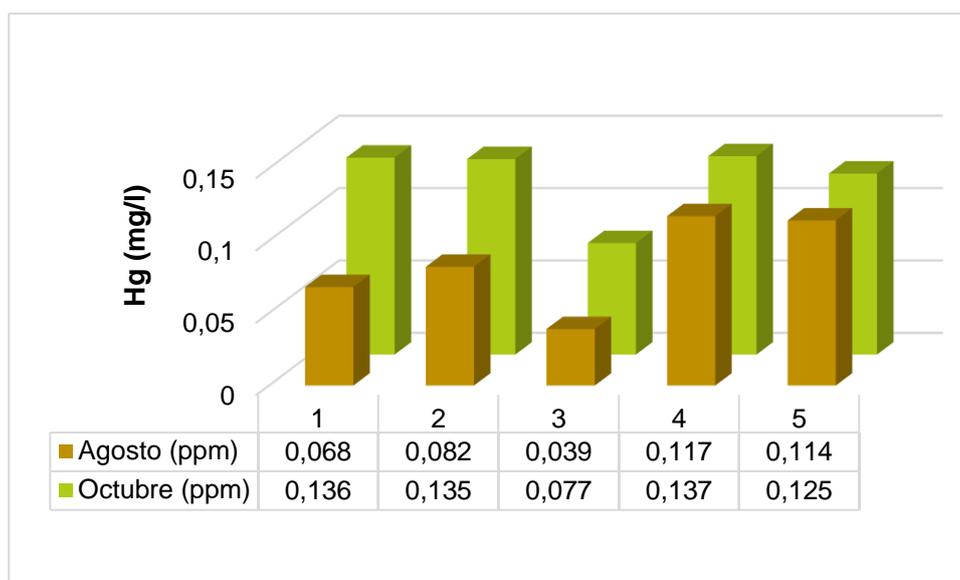
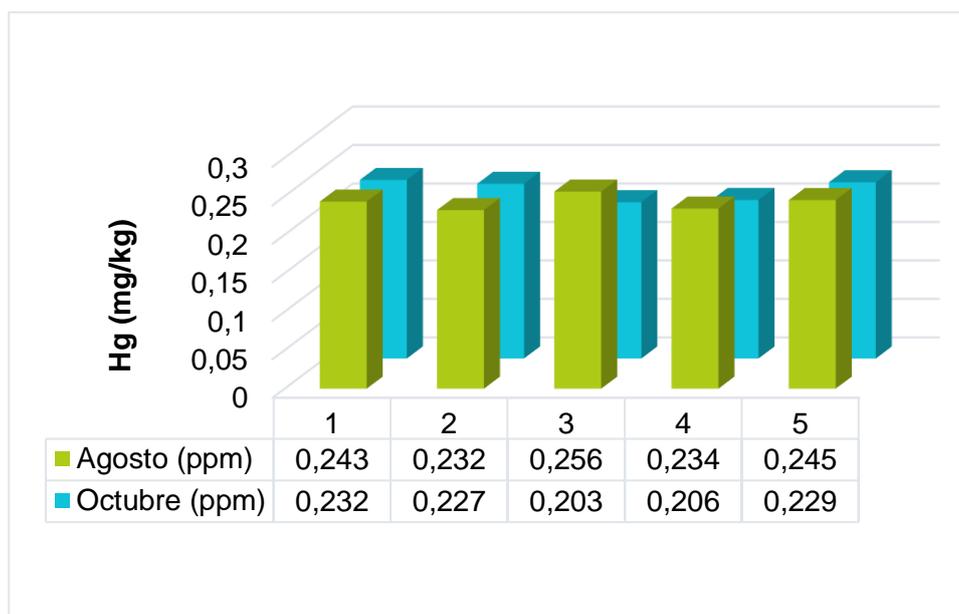


Gráfico 4.1 Presencia de mercurio en muestras de agua superficial del embalse La Esperanza.

En el gráfico 4.1. podemos observar la concentración de mercurio en las muestras de agua superficial obtenidas en los puntos de muestreos establecidos en el embalse La Esperanza en los meses de agosto y octubre de 2017.

La mayor concentración de mercurio presente en muestras de aguas superficial, se registró en el punto de muestreo 4 (Membrillo), con 0,117 mg/l en el mes de agosto y 0,137 mg/l en el mes de octubre. La menor concentración se encontró en la estación 3 (Dos Bocas) con 0,039 mg/l en agosto, 0,077 mg/l en octubre. Para el punto 1 (Bejuco) la concentración de mercurio fué de 0,068 mg/l en agosto y 0,136 mg/l en octubre, en el punto 2 (Carrizal) 0,082 mg/l en agosto, 0,135 mg/l en octubre y el punto 5 (Centro) 0,114 mg/l en agosto, 0,125 mg/l en octubre.



De acuerdo con el gráfico 4.2. la mayor concentración de mercurio en sedimentos, se presentó en el punto de muestreo 3 (Dos Bocas) con 0,256 mg/kg en el mes de agosto, mientras que la menor concentración se registró en la misma estación, con 0,203 mg/kg en el mes de octubre. Para el punto 1 (Bejuco) la concentración de mercurio en sedimentos fué de 0,243 mg/kg en agosto y 0,232 mg/kg en octubre, en el punto 2 (Carrizal) 0,232 mg/kg en agosto, 0,227 mg/kg en octubre, en el punto 4 (Membrillo) 0,234 mg/kg en agosto, 0,206 mg/kg en octubre, y en el punto 5 (Centro del embalse), 0,245 mg/kg en agosto, 0,229 mg/kg en octubre.

Según Ávila *et al.* (1999) los metales pesados que son introducidos en un sistema acuático, generalmente son depositados a través de procesos de precipitación y sedimentación en la capa de sedimento. De tal manera que el sedimento provee información sumamente valiosa de la historia de la calidad del cuerpo de agua (Von Gunten *et al.*, 1997).

La distribución del mercurio en el agua del embalse, no tiene un comportamiento definido, y es relativamente homogéneo; lo anterior puede ser explicado, bajo la base de que el mercurio se encuentra asociado principalmente, a la materia particulada suspendida en la presa, la cual es mantenida en la columna de agua mediante procesos de resuspensión (Ávila *et al.*, 2002).

Ávila *et al.* (1999) afirma que el mercurio aparece en altas concentraciones en el agua y en los sedimentos, probablemente debido a dos razones: (a) natural: producto del aporte de mercurio procedente de minerales tal como el cinabrio y de suelos mercuríferos y (b) antropogénica: producto de contribuciones de las descargas industriales o por la lixiviación de pesticidas organomercuriales que, en algún tiempo, fueron utilizados en los campos agrícolas aledaños al embalse.

Es importante mencionar que, bajo ciertas condiciones del embalse, es posible que el mercurio sea liberado del sedimento y de la fracción particulada hacia la fracción soluble, quedando biodisponible para la biota. Estos procesos pueden ocurrir debido a cambios en el pH de la presa, producto del ingreso en grandes concentraciones de descargas residuales ácidas, o a la remoción del sedimento sin llevar a cabo los procedimientos adecuados (Förstner y Wittman, 1981).

4.4 ANÁLISIS LOS RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO CON LA NORMATIVA VIGENTE NACIONAL E INTERNACIONAL.

Cuadro 4.2 Resultados de los análisis de laboratorio a la muestra de agua superficial

Parámetro	Unidad	Método	Puntos	2017		TULSMA	
				Agosto (ppm)	Octubre (ppm)	LMP (Tabla 1)	LMP (Tabla 6)
Mercurio (Hg)	mg/l o ppm	APHA AWWA WEF 3112-B	1	0,068	0,136	0,001 mg/l	0,001 mg/l
			2	0,082	0,135		
			3	0,039	0,077		
			4	0,117	0,137		
			5	0,114	0,125		

Los resultados de mercurio en muestras de aguas superficiales del embalse La Esperanza correspondientes a los meses de agosto y octubre de 2017 de las 5 estaciones de muestreo, revelan valores que van desde 0,039 hasta 0,137 mg/l, que según lo expuesto por el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente, se encuentra por encima de los límites máximos permisibles (0,001 mg/l) para aguas de consumo humano y uso doméstico y para aguas de uso agrícola o de riego, considerando que son las principales actividades a la que es destinada el agua del embalse La Esperanza, de acuerdo con Montesdeoca y Zamora (2017). Esta situación es contrasta con los resultados obtenidos por Andrade y Ponce (2016), quienes determinaron los niveles de mercurio en la microcuenca del río Carrizal, niveles que se encontraron dentro de los límites máximo permisibles establecidos por el TULSMA, razón por la cual, indican que no existe contaminación metálica en ese recurso hídrico. Por otro lado, la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (2008), determinó la concentración de mercurio presente en los humedales de la Mojona Sucreñas, los resultados mostraron concentraciones medias de los niveles de mercurio variando entre $0,1900 \pm 0,1857 \mu\text{g Hg/g}$ en agua. Cabrera y Ruiz (2007) afirman que los niveles de mercurio encontrados en lagos, ríos y arroyos no superan normalmente los 0,1

$\mu\text{g/l}$, pero en áreas cercanas a concentraciones de fuentes minerales de mercurio naturales el nivel, se puede elevar hasta superar los $80 \mu\text{g/l}$.

Cuadro 4.3 Resultados de los análisis de laboratorio a la muestra de sedimento

Parámetro	Unidad	Método	Puntos	2017		CEQG	
				Agosto (mg/kg)	Octubre (mg/kg)	ISQG	PEL
Mercurio (Hg)	mg/kg	APHA AWWA WEF 3112-B	1	0,243	0,232	0,17 mg/kg	0,486 mg/kg
			2	0,232	0,227		
			3	0,256	0,203		
			4	0,234	0,206		
			5	0,245	0,229		

En Ecuador no existen normas que establezcan límites máximos permisibles para metales en sedimentos; por lo tanto, los resultados obtenidos de mercurio en los sedimentos del embalse la Esperanza se compararon con las Guías de Calidad Ambiental Canadiense, que establece parámetros de calidad de agua para la protección de la vida acuática referentes a la presencia de metales en aguas continentales de acuerdo con Laino *et al.* (2015).

Los resultados de mercurio presente en las muestras de sedimentos obtenidas del embalse la Esperanza en los 5 puntos de muestreo, exceden los límites máximos permisibles (ISQG: $0,17 \text{ mg/kg}$; PEL: $0,486 \text{ mg/kg}$), establecidos en la Norma Internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life (CEQG). Las concentraciones obtenidas en las muestras de sedimentos en este estudio, pueden ser comparadas, con los valores obtenidos por Carrasquero (2003), para muestras de sedimentos tomadas a lo largo de río Yuruari, donde se encontraron niveles por encima del intervalo de 350 y $2080 \mu\text{g/kg}$ con una mediana de $740 \mu\text{g/kg}$. Mientras que en el río Pirro varió significativamente entre los diferentes puntos de muestreo, en un rango de 194 ± 10 a $307 \pm 10 \text{ mg/kg}$, de acuerdo con lo obtenido en la investigación desarrollada por Herrera *et al.* (2013).

De acuerdo con la norma canadiense, los sedimentos del embalse la Esperanza provocan efectos biológicos ocasionales, debido a que el resultado de los análisis indica que los valores de concentración de mercurio son mayores que el ISQG pero menores al PEL.

Briones *et al.* (1997) afirman que la calidad del ecosistema acuático está muy degradado. 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, quemadas, inundaciones etc.), que no ayudan a una estabilidad

completa. El asentamiento de los finqueros representa un aumento de zonas agrícolas y ganaderas al borde del embalse La Esperanza debido a que estos realizan actividades como la siembra de pasto, maíz, yuca, plátano, tomate, toronja y papaya.

Del Pilar *et al.* (2011), indica que, en los últimos años, el número de embalses creados por el hombre, han aumentado drásticamente por la urgente necesidad de suministrar agua para consumo humano, agropecuario y generación de energía hidráulica. Jiménez *et al.* (2004) menciona que los embalses representan un recurso fundamental para el adecuado aprovechamiento de los recursos hídricos, permitiendo modular el suministro de agua a las necesidades de consumo. Sin ellos, un porcentaje muy grande del agua dulce terminaría sin uso en los océanos. Por lo antes expuesto, Mena y Suárez (1993) afirman, que la presencia de mercurio en el agua superficial y en los sedimentos de los embalses, se debe al uso de canoas con motores fuera de borda que utilizan combustibles tóxicos. De igual manera, el uso de químicos para las actividades agrícolas que se desarrollan en las áreas circundantes, y los desechos que en ocasiones se arrojan en la presa. Esto concuerda con lo expuesto por Castro y Valdés (2012), quienes certifican que los desechos domésticos, agrícolas e industriales constituyen fuentes principales de contaminación por mercurio en los cuerpos de agua.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Según los criterios expuestos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Agua, se establecieron cinco puntos de muestreo en el embalse La Esperanza, distribuidos de la siguiente manera: el punto 1 (Bejuco), punto 2 (Carrizal), punto 3 (Dos Bocas), punto 4 (Membrillo), punto 5 (centro del embalse La Esperanza).
- La mayor concentración de mercurio presente en la muestra de agua superficial se registró en el punto de muestreo 4 (Membrillo) con 0,117 mg/l correspondiente al mes de agosto y 0,137 del mes de octubre. La menor concentración fue registrada en la estación 3 (Dos Bocas) con 0,039 mg/l (agosto), 0,077 mg/l (octubre). De acuerdo con la tabla 1 y 6 de la legislación ambiental vigente (TULSMA Libro VI Anexo 1) las concentraciones de mercurio detectadas en la muestra de agua superficial del embalse La Esperanza se encuentra por encima del límite máximo permisible para consumo humano , uso doméstico y agrícola.
- De acuerdo a la Norma Internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life (CEQG), las concentraciones de mercurio encontradas en los sedimentos del embalse La Esperanza exceden el límite máximo permisible del ISQG (0,17 mg/kg) pero no están por encima del límite máximo permisible establecido por el PEL (0,486 mg/kg), por lo tanto provoca efectos biológicos ocasionales en los seres vivos.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Dar continuidad a esta investigación, considerando las áreas que no fueron evaluadas en este estudio, con el objetivo de abordar todo el embalse La Esperanza, siendo este una unidad ecológica importante para el crecimiento económico de las poblaciones circunstantes a ella.
- Evaluar la presencia de mercurio en aguas superficiales en meses de época con altas precipitaciones, con el propósito de determinar la carga de mercurio por escorrentía, a lo largo de la cuenca aportante al embalse La Esperanza, considerando el uso del suelo y otras fuentes de contaminación.
- Realizar análisis de mercurio en las especies acuáticas del embalse, principalmente en las especies que son de consumo humano, con la finalidad de conocer su concentración y el riesgo para la salud.

BIBLIOGRAFÍA.

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentaste, E., Sarzanini, C. y Barberis, R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. *Revista Environmental Pollution*, 119(45): 177-180.
- Abrahams, P. 2012. Soils: their implication to human health. *Revista Science of the Total Environment*, 29(1), 1-32.
- Abrahams, P. 2012. Soils: their implication to human health. *Revista Science of the Total Environment*, 29(1): 1-32.
- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W., y Martínez, G. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Revista Interciencia*, 27(12): 686-690.
- Alcívar, M. y Mosquera, J. 2011. Concentración de metales pesados (Cr, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el estero salado (Guayaquil). Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Alvarado, J., Fernández, L., Caiminagua, A. y Romero, H. 2015. Determinación de arsénico en sedimento marino por espectroscopía atómica mediante su hidruro volátil generado electroquímicamente. *Revista Científica*, 1(2): 12-15.
- Álvarez, R. y Amancio, F. 2014. Bioacumulación de metales pesados en peces y análisis de agua del río santa y de la laguna chinancocha. Perú: Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo".
- Andrade, E., & Ponce, W. (2016). Determinación de los niveles de metales pesados en la microcuenca del río carrizal del cantón bolívar, provincia de manabí. Calceta: ESPAM "MFL".
- Atinidad, A. y Yidit, S. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beysehir, Turkey. *Chemosphere*(60), 552-556.
- Autoridad Nacional del Agua. 2010. Protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos. Perú: ministerio de agricultura.
- Ávila, P., Balcázar, M., Zarazúa, G., Barceló, I. y Díaz, C. 1999. Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a mexican reservoir. *The Science of the Total Environment*(234), 185-196.
- Ávila, P. 1995. Evaluación de los metales pesados Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb y Hg en agua, sedimento y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) de la Presa José

- Antonio Alzate, Estado de México. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Ávila, P., Zarazúa, G., Barcelo, I., Díaz, C. y Bussy, A. 2002. Distribución de mercurio en agua y sedimento de una presa Mexicana. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ávila, P., Balcázar, M., Zarazúa, G., Barceló, I. y Díaz, C. 1999. Heavy metal concentrations in water and bottom sediment of a mexican reservoir. *The Science of the Total Environment*(234), 185-196.
- Barrenechea, A. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Lima.
- Barros, O. 2016. Evaluación de los niveles y distribución espacial de metales pesados en zonas de playas turísticas de la Guajira . Guajira.
- Barreto, P., Espinoza, G. y Leyva, M. 2010. Protocolo de monitoreo de agua. Perú: universidad nacional "santiago antúnez de mayolo".
- Briones, E., Flachier, A., Gómez, J., Tirira, D., Medina, H., Jaramillo, I. y Chiriboga, C. 1997. Humedales Lénticos de las Provincias de Esmeraldas y Manabí. Quito: EcoCiencia.
- BioManabí, 2012. Un acercamiento a la realidad ambiental de mi provincia. "Crónica de una tragedia". Disponible en: romoced.wordpress.com
- Boffeta, P. 1993. Carcinogenicity of mercury and mercury compounds. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 19, 1-7.
- Cabrera, C., & Ruiz, J. (2007). Mercurio en aguas del sureste de España: posibles fuentes de contaminación. *Ars Pharmaceutica*, 48(1), 37-53.
- Carrera, C. y Fierro, K. 2001. Manual de monitoreos acuáticos: Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Quito: EcoCiencia.
- Carrasquero, D. (2003). Ciclo Biogeoquímico del Mercurio en la Serranía de Imataca en el Estado Bolívar. Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Casas, I., Gómez, E., Rodríguez, L., Girón, S. y Mateus, J. 2015. Hacia un plan nacional para el control de los efectos del mercurio en la salud en Colombia. *Revista Biomédica*, 13(6): 30-37.

- Castañé, P., Topalián, M., Cordero, R. y Salibián, A. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Revista Toxicológica*, 23(12): 13-18.
- Castro, G. y Valdés, J. 2012. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(2), 267-281.
- Chapman, D. 1992. *Water quality assessments*. New York: Chapman & Hall.
- Chen, Y. 2013. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Revista Ecotoxicológica*, 9(2): 12-19.
- Chen, C., Stemberger, B., Klaue, J. y Blum, C. 2000. Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes. *Limnology and Oceanography*(45), 1525-1536.
- Clifton, J. 2007. Mercury exposure and public health. *Pediatric Clinics of North America*, 54(12), 237-269.
- Cloter, H. 2004. *El manejo integral de cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Combariza, B. 2009. *Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibate (Cundinamarca)*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Commission for Environmental Cooperation. 2009. *El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes-Calidad del agua*. Commission for Environmental Cooperation: CEC.org.
- Constitución de la República de Ecuador. 2008. Título VII. Capítulo segundo. Sección sexta. Artículo 411. Quito.
- Contreras, J., Mendoza, L. y Gómez, A. 2004. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Revista Ciencia y Sociedad*, 29(1): 38-71.
- Córdoba, M., Del Coco, V. y Basualdo, J. 2010. Agua y salud. *Revista Química Viva*, 9(3): 105-119.
- Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. (2008). *Niveles de mercurio en sedimento, agua y tejido vivo "buchón, arroz, peces y cabello"*

en los humedales de la mojana sucreña. Medellín: Universidad de Antioquia

- Costa, M. 2012. "Mercury in tropical and subtropical coastal environments". *Environmental Research*(119), 88-100.
- Cotler, H., Garrido, A., Mondragón, R. y Díaz, A. 2007. Delimitación de las cuencas hidrográficas de México a escala 1: 250 000. México: México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional del Agua.
- Deacon, J. y Driver, N. 1999. Distribution of trace elements in streambed Sediment associated with mining activities in the upper Colorado River Basin. USA.
- Del Pilar, M., Días, E. y Gutiérrez, A. 2011. Diagnóstico de la calidad del agua en un sistema de embalses de cascada, cuenca del río San Juan, Querétaro, México. *Tecnologías y ciencias del Agua*, 2(3), 115-126.
- Díaz, M., Bustos, M. y Espinoza, A. 2005. Pruebas de toxicidad acuática: fundamentos y métodos. . Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Echeverry, G., Zapata, A., Paéz, M., Méndez, F. y Peña, M. 2015. Valoración del riesgo en salud en un grupo de la población de Cali, por exposición a Plomo, Cadmio y mercurio asociada con el consumo de agua. *Revista Biomédica*, 15(12): 110-119.
- Eróstegui, C. 2009. Contaminación por metales pesados. *Revista de Ciencia Médica*, 12(1): 13-19.
- Fernández, A. 2012. El agua: un recurso esencial. *Revista Química del agua*, 11(3), 147-170.
- Fernández, N. y Solano, F. 2005. Índices de Calidad y de contaminación del Agua. . Universidad de Pamplona.
- Fostner, U. y Wittman, C. 1981. *Metal Pollution in the aquatic environment*. Berlin: Springer-Verla.
- Gaona, X. y Valiente, M. 2002. Stability study on a Westöön-based methodology to determine organomercury compounds in polluted soil samples. *Analytica Chimica Acta*(480), 219-230.
- García, D, y Alva, M. 2013. Contenido de metales pesados en pescados comercializados en Iquitos, Nauta y Requena. *Revista Ciencia Amazónica*, 3(1): 33-42.

- García, J., Méndez, J. y Pásaro, E. 2012. Genotoxic effects of lead: An updated review. *Revista Environment International*, 2(4): 623-636.
- Gaioli, M., Amoedo, D. y González, D. 2012. Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(3), 12-19.
- Gómez, H. 2006. Sistemas de Información Geográfica, uso, técnicas y múltiples aplicaciones. *Revista Geoenseñanza*, 11(1): 3-4.
- Guanes, L., Mendoza, B., González, M. y Ramirez, N. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4): 61-74.
- Harikumar, P., Nasir, U. y Mujeebu, R. 2009. Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 225-232.
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V. y Borbón, H. 2011. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 1-10.
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 15-18.
- Holmes, P., James, K. y Levy, L. 2010. Is low level environmental mercury exposure of concern to human health? *Science of the Total Environment*, 408(2), 171-182.
- Huang, Z. 2014. Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Revista Food Control*, 36(1): 248-252.
- Jiménez, O., Farías, H. y Rodríguez, C. 2004. *Procesos de Sedimentación en embalses en Ambientes Tropicales*. . Costa Rica.
- Llerena, C. 2003. *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. . Perú: FAO.
- Laino, R., Bello, R., González, M., Ramírez, N., Jiménez, F. y Musálem, K. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(4), 61-74.

- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodríguez, C. y Sánchez, A. 2013. Calidad del agua en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando sistemas de información geográfica y modelos lineales de regresión. *Revista Ambiente & Agua*, 8(2), 14-18.
- Li, A., Chan, M., Leung, T., Cheung, R. y Lam, T. 2010. Mercury intoxication presenting with tics. *Revista Archives Health Children*, 83(1): 174-175.
- Litter, I. at. 2009. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. (En línea.) Formato PDF. Consultado el 7 de jun. 2016. Disponible en: http://paginas.fe.up.pt/~cigar/html/documents/Monografia2_000.pdf
- Llerena, C. 2003. Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. . Perú: FAO.
- Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecua*, 14(2): 12-19.
- López, W. 2013. El estudio de casos: una vertiente para la investigación educativa. *Revista Educere*, 17(56): 139-144.
- Lucho, C., Álvarez, M., Beltrán, R., Prieto, F. y Poggi, H. 2005. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Revista Environmental International*, 12(6): 160-185.
- Macías, P. 2015. Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del Río Tuxpan, Veracruz. Veracruz.
- Mancera, J. y Álvarez, R. 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.
- Marcano, J. 2003. Educación ambiental en la Republica Dominicana. Republica Dominicana.
- Marín, A., González, V., Lapo, B., Molina, E. y Lemus, E. 2016. Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera del Oro. *Revista Gayana*, 80(2): 147-153.
- Marroquin, L. 2013. Calidad de agua superficial. Guatemala: FAUSAC.

- Marti, L., Filippini, M., Drovandi, A., Salcedo, C., Troilo, S. y Valdés, A. 2011. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 43(2): 53-65.
- Mero, M. 2010. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del golfo de Guayaquil". Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Mena, P. y Suárez, L. 1993. *La Investigación para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Ecuador*. Ecuador: EcoCiencia.
- Molina, C., Ibañez, C. y Gibon, F. 2013. Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. *Revista Ecología*, 47(2): 99-118.
- Morgan, J. y Stumm, W. 1991. *Chemical processes in the environment, relevance of chemical speciation*. Weinheim: VCH.
- Moreira, J. y Sabando, B. 2016. Determinación Del Nivel De Eutrofización Del Embalse Sixto Duran Ballén Mediante Índices De Estado Trófico. Consultado en línea 08 de Agosto del 2017. Formato PDF. Disponible en: repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/285/1/TMA86.pdf
- Moreno, L., Vega, N., Bazo, Y., Cuevas, J., Cuevas, J. y Hernández, L. 2013. Tóxicos ambientales y salud: Intervención educativa. *Revista Cubana de Química*, 25(1): 82-91.
- Murgueito, E.; Cumbal, L.; Aguirre, V.; 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 28 de jun, 2017. Formato PDF.
- Nava, R. y Méndez, M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Revista Archivos de Neurociencias*, 16(3): 140-147.
- Oertli, B., Céreguino, A., Hull, A. y Miracle, R. 2009. Pond conservation: from science to practice. *Hydrobiologia*(643), 1-9.
- Orta, L. 2002. Contaminación de las aguas por plaguicidas químicos. *Revista de Fitosanidad*, 6(3): 55-62.
- Organización Mundial de la Salud. 2005. *El mercurio en el sector de la salud*. México.

- Ortega, J., Ferris, J., Tortajada, J. y López, J. 2003. Hospitales Sostenibles (II). Mercurio: exposición pediátrica. *Revista Española Pediatría*, 59(3), 274-291.
- Pineda, M. 2009. Granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el seno reloncaví y golfo corcovado, Chile. *crucero cimarrón 10 fiordo*. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 32(1): 27-47.
- Piña, M., Lué, P. y Rojas, J. 2012. Optimización de un método analítico para la determinación de mercurio en muestras ambientales por espectrometría UV-visible. *Revista Avances en Química*, 7(3): 171-180.
- Polvorinos, A., Forteza, M., Hernández, J., Almarza, J., Toja, J. y Escot, C. 2005. Remote sensing modeling and monitoring of water quality within the Seville. España: ESRIN.
- Posada, M. y Arroyave, M. 2006. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista eia*(6), 11-18.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2002. Productos químicos. Ginebra, Suiza.
- Raimann, X., Rodríguez, L., Chávez, P. y Torrejón, C. 2014. Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Médica*, 142(9): 1174-1180.
- Realpe, S. 2009. Estudio de la contaminación del agua por productos fabricados a base de PVC usando espectroscopia de absorción atómica y quimiometría. Riobamba: ESPOCH.
- Rengifo, D. y Reyes, W. 2016. Amazonía peruana en riesgo por presencia de mercurio en el río Napo. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(3): 41-50.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y González, E. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2): 66-77.
- Rizzo, D., Daga, R., Arcagni, M., Perez, S., Bubach, D., Sánchez, R. y Arribére, M. 2010. Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *Ecología Austral*, 20(2), 56-63.
- Rodríguez, S. y Ávila, P. 1997. Stock of immobilized metals in "José Antonio Alzate" dam mud sediment samples in the State of México, México. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*(221), 231-234.

- Romero, K. 2009. Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46. (En línea). Consultado, 28 May. 2017. Formato PDF.
- Salomons, W. y Forstner, V. 1984. *Metals in the hydrocycle*. New York: Springer-Verlag.
- Sanchez, A., Álvarez, T., Sáenz, R., Ortiz, M., López, E. y Aguíniga, S. 2008. Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: Implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 25(3), 12-19.
- Samboni, N., Carvajal, Y. y Escobar, J. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e innovación*, 27(3): 172-181.
- Sanchez, J. y Maza, J. 2000. *Morfología de ríos*. UNAM.
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y desarrollo). 2013. *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017: objetivo 7*. Quito.
- Source. 2013. *Evaluación de la calidad del agua, de los sedimentos e interpretación de los resultados de los análisis del OEFA en la zona del complejo minero Yanacocha, Perú*. Perú.
- Soo, Y., Chow, K., Lam, C., Lai, F., Szeto, C., Chan, M. y Li, P. 2013. Whiteness face woman with nephritic syndrome. *American Journal Kidney*, 4(3): 250.
- Soto, O., Carillo, J. y Suárez, J. 2011. *Concentraciones de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan, Tlaxcala, México*. México: M. L. Hernández-Rodríguez.
- Stachetti, G. 2007. *Manual de evaluación de impacto ambiental de actividades rurales*. Montevideo, Uruguay: Cebra.
- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente . 2003. *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Quito: MAE.
- Torres, P., Hernán, C. y Patiño, P. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15): 79-94.
- Tortorelli, M., Marzio, W., Sáenz, M. y Alberdi, J. 1994. *Ensayos ecotoxicológicos con organismos acuáticos para la evaluación de la contaminación ambiental*. Curso de Postgrado. . Argentina: Universidad Nacional de Luján.

- Tulonen, T., Pihlstrom, L., Arvola, L. y Rask, M. 2006. Concentrations of heavy metals in food web components of small, boreal lakes. *Boreal Environment Research*, 11, 185-194.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2005. Ecological Effects Test Guidelines. OPPTS.
- Velásquez, F., Calderón, J., Urdánigo, L. y Cárdenas, F. 2017. Cambio de uso de suelo en el azolvamiento del embalse "La Esperanza" Manabí-Ecuador. *Revista Del Instituto De InvestigaciÓN De La Facultad De IngenieríA GeolÓGica, Minera, Metalurgica Y GeográFica*, 19(37), 20-39.
- Viccelio, P. 1998. *Emergency toxicology*. Filadelfia: Lippincott-Raven.
- Von, H., Sturn, M. y Moser, R. 1997. Year record of metals in lake sediments and natural background concentrations. *Revista Environmental Science & Technology*, 31, 2193-2197.
- Waisberg, M., Joseph, P., Hale, B. y Beyersmann, D. 2013. Molecular and celular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Revista Toxicológica*, 3(4): 95-117.
- Wang, T., Weissman, J., Ramesh, G., Varadarajan, R. y Benemann, J. 1996. Parameters for removal of toxic heavy metals by water milfoil (*Myriophyllum spicatum*). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 57(5), 779-786.
- Yarto, M., Gavilán, A. y Castro, J. 2004. La contaminación por mercurio en México. *Revista Gaceta Ecológica*, 15(72): 21-34.

ANEXOS

ANEXO 1 REGISTROS FOTOGRÁFICOS



1.A.: Reconocimiento del área de estudio.



1.B.: Punto # 1 (Bejuco).



1.C.: Punto # 2 (Carrizal).



1.D.: Punto # 3 (Dos Bocas).



1.E.: Punto # 4 (Membrillo).

1.F.: Punto # 5 (Carrizal).



uestra en agua.



1.I.: Aplicación del método de mineralización en seco.



1.J.: Sedimento posteriormente de la estufa.



1.K.: Disgregación de sedimentos.

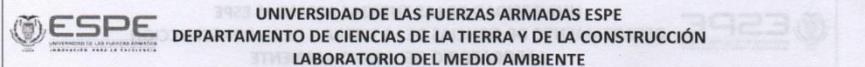


1.L.: Preparación de las muestras de sedimento.



1.M.: Aforacion de las soluciones con agua desmineralizada.

ANEXO 2 REPORTE DEL LABORATORIO

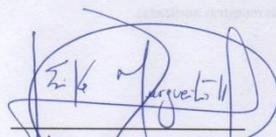


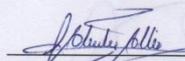
REPORTE DE RESULTADOS

SOLICITANTE: Dra. Ana Aveiga Ortiz	TIPO DE MUESTRA: Agua superficial (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
PROVINCIA: Manabí CANTÓN: Bolívar	LUGAR DE MUESTREO: Embalse del Río Carrizal Bolívar - Manabí (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA TOMA DE MUESTRA: 17-08-2017, 04-10-2017, (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
MUESTRAS TOMADAS POR: Rosa Rivadeneira Fabiola Zambrano	FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 17-10-2017, 18-10-2017, 19-10-2017, 26-10-2017 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		
			Muestra de Agua Superficial		
			ESTACIONES	AGOSTO (ppm)	OCTUBRE (ppm)
Mercurio (Hg)	mg/L o (ppm)	APHA AWWA WEF 3112-B	1	0,068	0,136
			2	0,082	0,135
			3	0,039	0,077
			4	0,117	0,137
			5	0,114	0,125

- 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





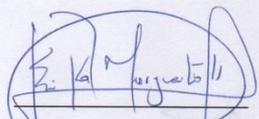
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DEL MEDIO AMBIENTE

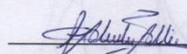
REPORTE DE RESULTADOS

SOLICITANTE: Dra. Ana Aveiga Ortiz	TIPO DE MUESTRA: Sedimento (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
PROVINCIA: Manabí CANTÓN: Bolívar	LUGAR DE MUESTREO: Embalse del Río Carrizal Bolívar - Manabí (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA TOMA DE MUESTRA: 16-08-2017, 06-10-2017 (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		
			Muestra de Sedimento		
			ESTACIONES	AGOSTO (ppm)	OCTUBRE (ppm)
Mercurio (Hg)	mg/L o (ppm)	APHA AWWA WEF 3112-B	1	0,243	0,232
			2	0,232	0,227
			3	0,256	0,203
			4	0,234	0,206
			5	0,245	0,229

- 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 Murgueta, PhD(c)
Jefe de Laboratorio


Ing. Alexandra Albán
Analista Laboratorio



Anexo 2.B.: Resultados de los análisis realizados a la muestra de sedimento del embalse La Esperanza

ANEXO 3 TABLAS DE NORMAS VIGENTES

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN*	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

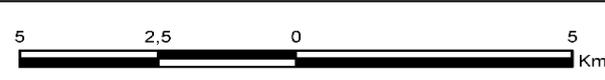
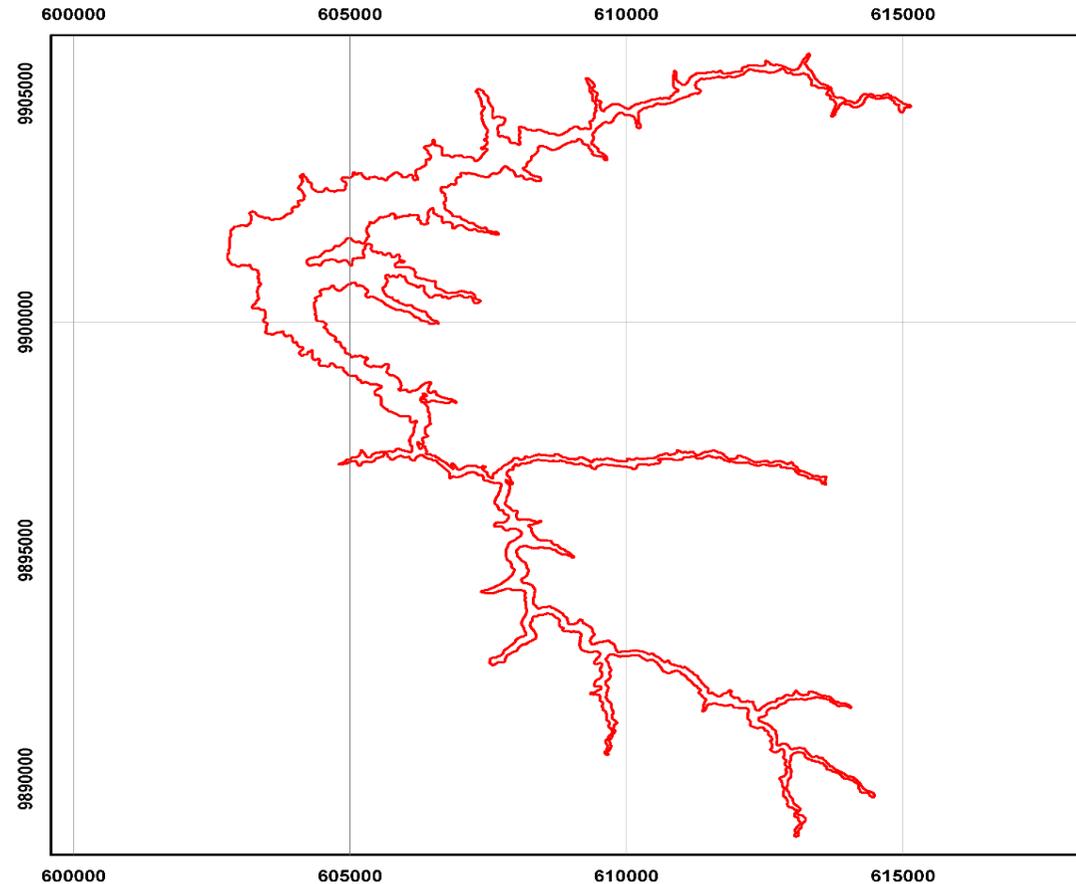
Anexo 3.A.: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico (Anexo 1: Tabla 1 del TULSMA).

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO	mg/l	0,2
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Anexo 3.B.: Criterios de calidad de fuentes de agua para riego agrícola (Anexo 1: Tabla 3 del TULSMA).

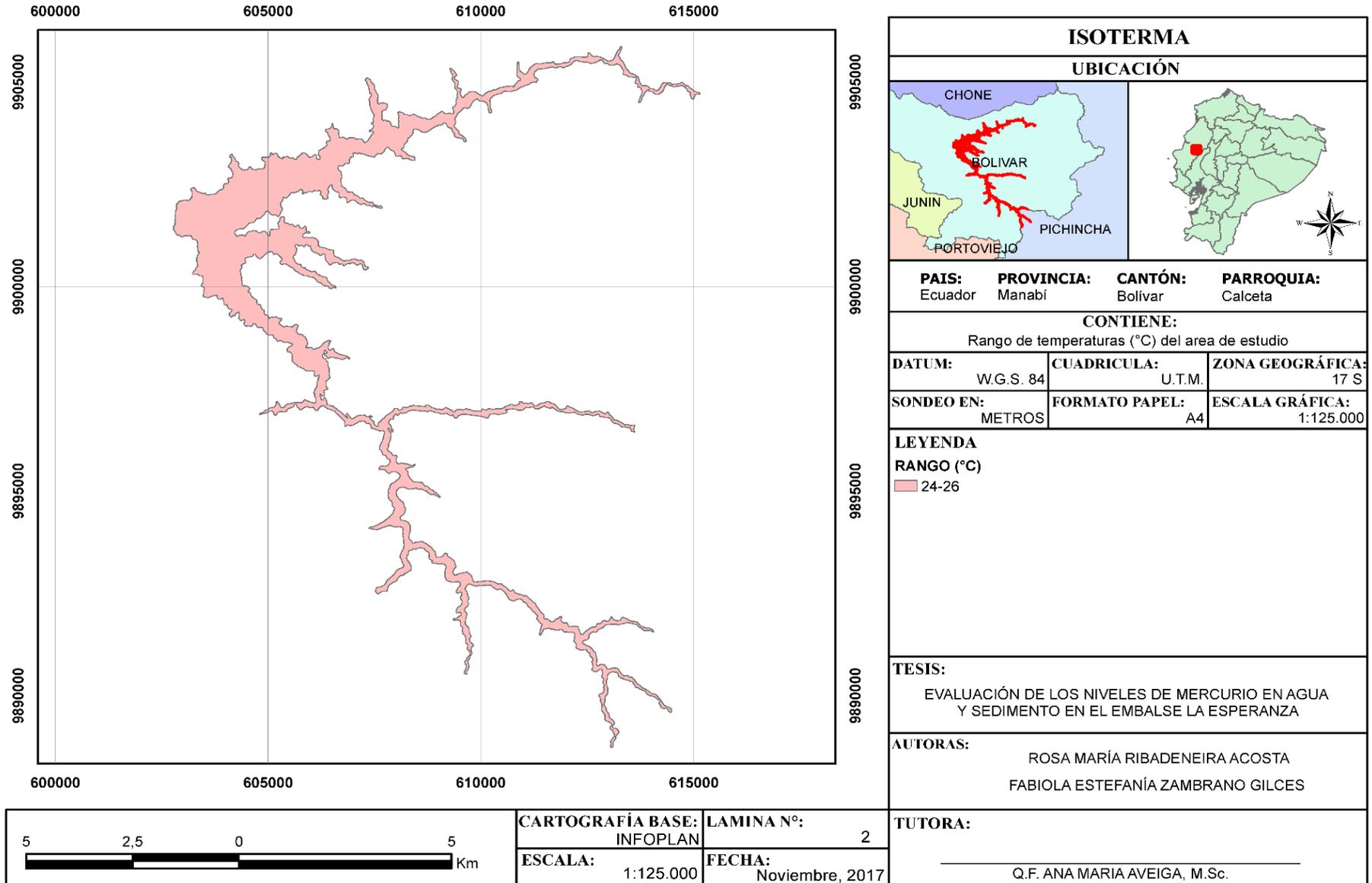
ANEXO 4 MAPAS TEMÁTICOS DEL EMBALSE LA ESPERANZA

Anexo 4.A.: Mapa Aereo de estudio.

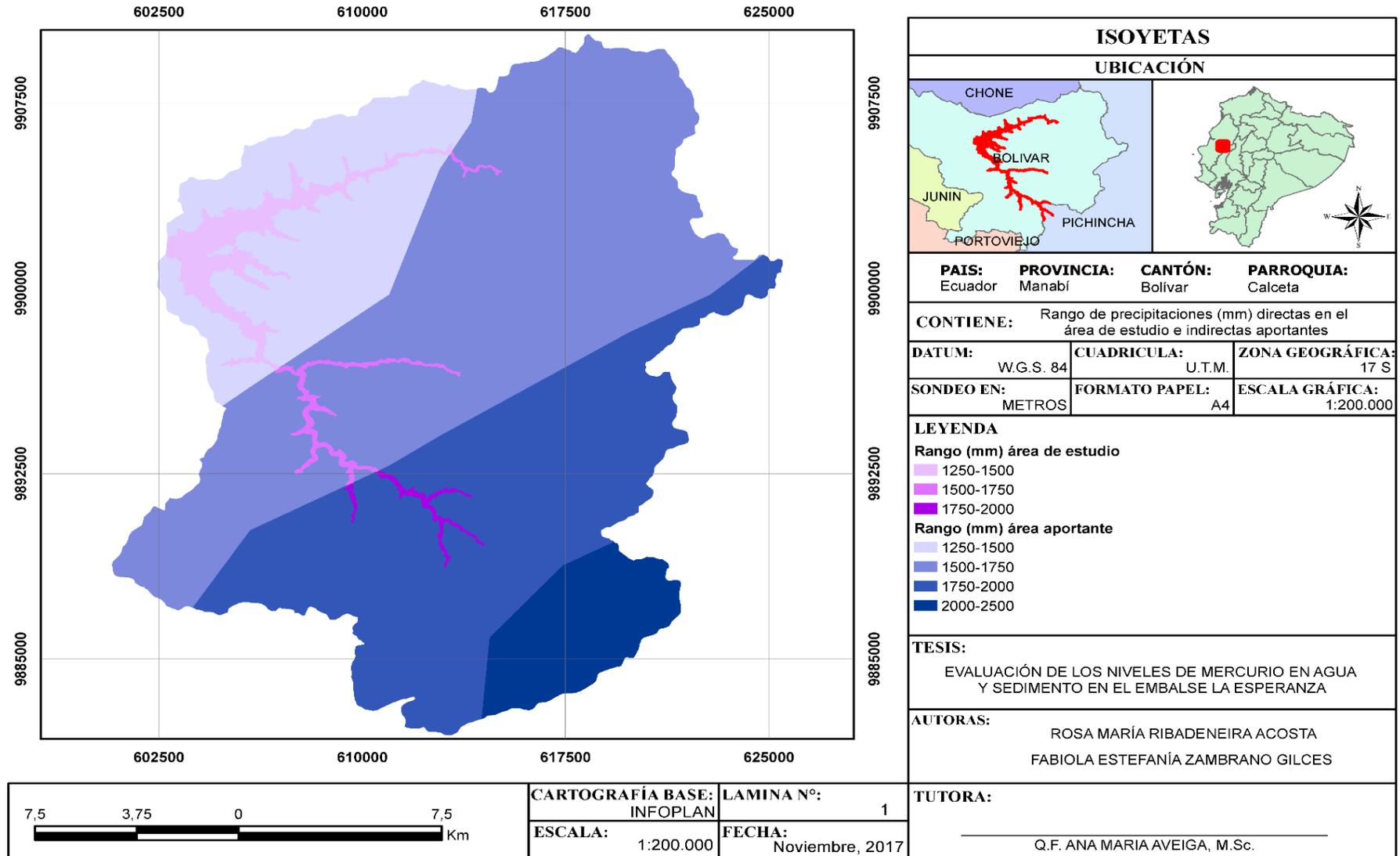


ÁREA DE ESTUDIO			
UBICACIÓN			
PAIS: Ecuador	PROVINCIA: Manabí	CANTÓN: Bolívar	PARROQUIA: Calceta
CONTIENE: Límite del embalse a la cota 66			
DATUM: W.G.S. 84	CUADRICULA: U.T.M.	ZONA GEOGRÁFICA: 17 S	
SONDEO EN: METROS	FORMATO PAPEL: A4	ESCALA GRÁFICA: 1:125.000	
LEYENDA			
Embalse "La Esperanza" a la cota 66 Área: 1604,56 ha			
TESIS:			
EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL EMBALSE LA ESPERANZA			
AUTORAS:			
ROSA MARÍA RIBADENEIRA ACOSTA FABIOLA ESTEFANÍA ZAMBRANO GILCES			
TUTORA:			
Q.F. ANA MARIA AVEIGA, M.Sc.			
CARTOGRAFÍA BASE: INFOPLAN		LAMINA N°: 3	
ESCALA: 1:125.000		FECHA: Noviembre, 2017	

Anexo 4.B.: Mapa de isotermas

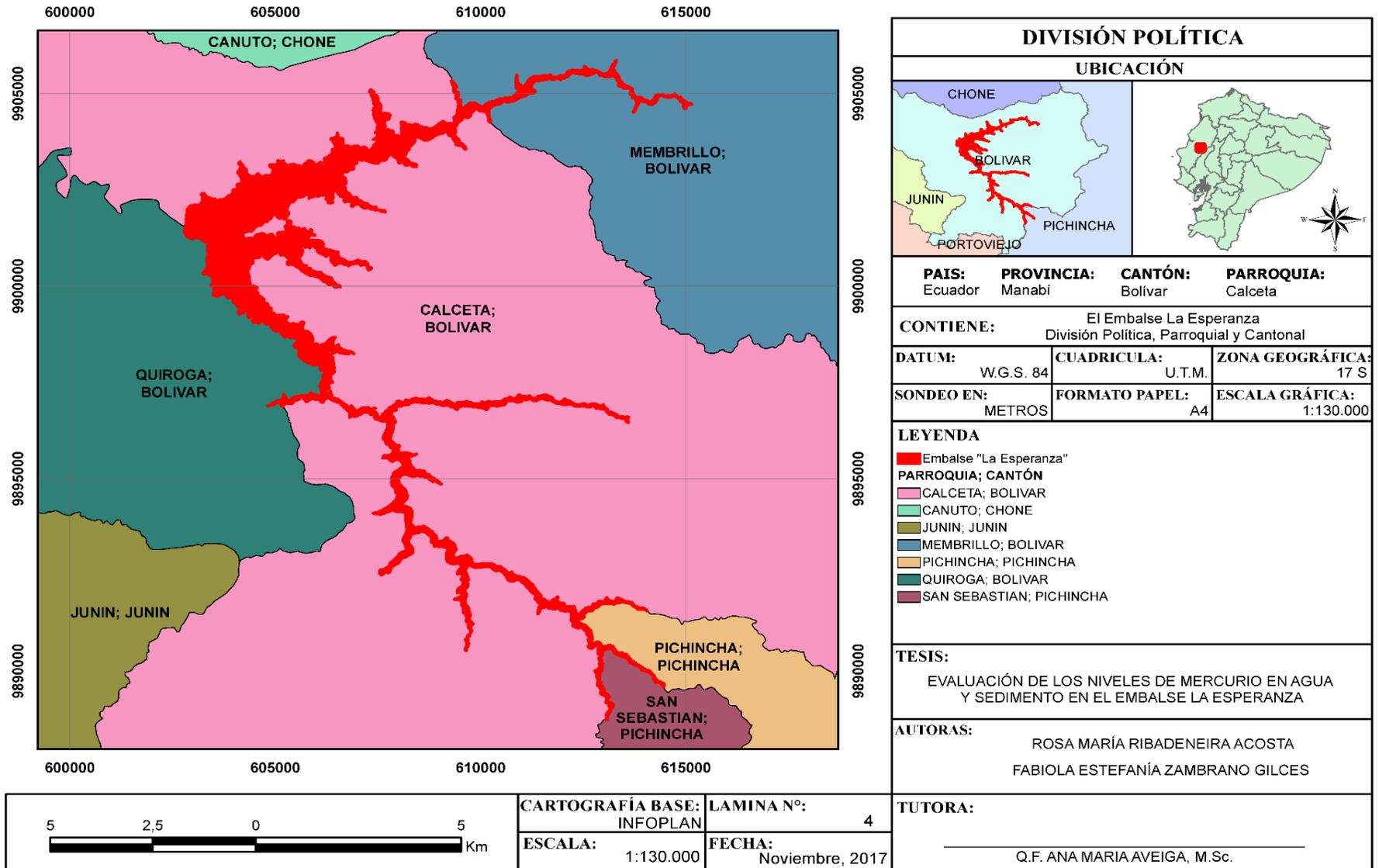


Anexo 4.C.: Mapa de isoyetas

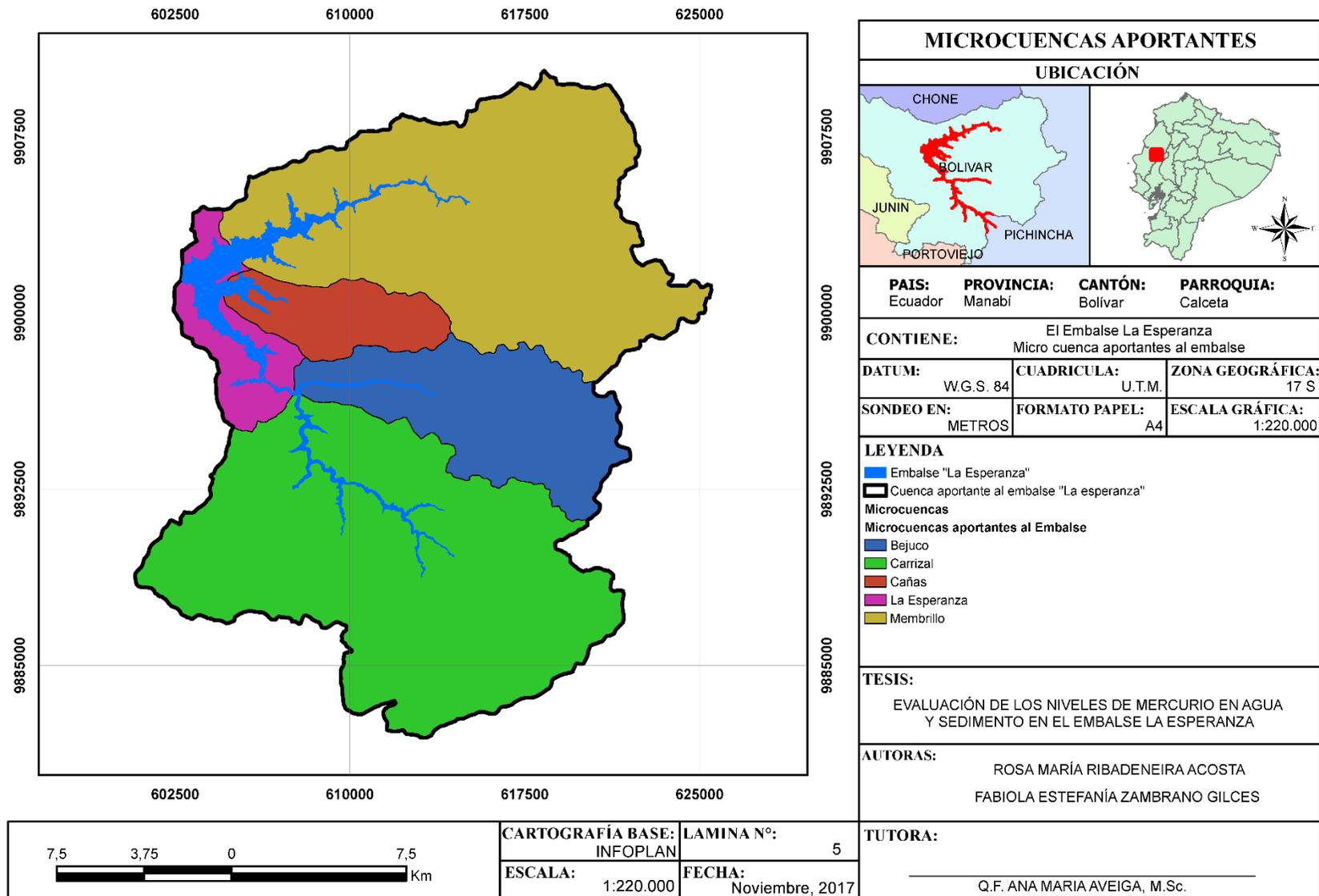


CARTOGRAFÍA BASE: INFOPLAN	LAMINA N°: 1
ESCALA: 1:200.000	FECHA: Noviembre, 2017

Anexo 4.D.: Mapa de división política parroquial y cantonal del área de estudio



Anexo 4.E.: Mapa de microcuencas aportantes al embalse la Esperanza.



Anexo4.F.: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

