



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ

MANUEL FÉLIX LÓPEZ

CARRERA MEDIO AMBIENTE

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN
AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL**

AUTORAS:

PATRICIA KAROLINA ESMERALDAS VERA

JENNY ROXANNA ZAMBRANO ZAMBRANO

TUTORA:

Q.F ANA MARÍA AVEIGA ORTÍZ, MGS.

CALCETA, JUNIO 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

Patricia Karolina Esmeraldas Vera y Jenny Roxanna Zambrano Zambrano, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

.....
PATRICIA K. ESMERALDAS VERA

.....
JENNY R. ZAMBRANO ZAMBRANO

CERTIFICACIÓN DE TUTORA

Ana María Aveiga Ortiz, certifica haber tutelado la tesis **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL**, que ha sido desarrollada por Patricia Karolina Esmeraldas Vera y Jenny Roxanna Zambrano Zambrano, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
Q.F. ANA MARÍA AVEIGA ORTÍZ, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** la tesis **EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Patricia Karolina Esmeraldas Vera y Jenny Roxanna Zambrano Zambrano, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ING. LAURA MENDOZA CEDEÑO, M.Sc.

MIEMBRO

.....
ECO. ROBERTO ZAMBRANO FARÍAS, M.Sc.

MIEMBRO

.....
ING. FRANCISCO JAVIER VELÁSQUEZ INTRIAGO, M.Sc.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

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

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

A nuestra tutora Q.F Ana María Aveiga Ortíz, por ser nuestra guía y ejemplo de superación, por el apoyo brindado de manera incondicional para el desarrollo de nuestra tesis, por ser parte fundamental de nuestros conocimientos universitarios, como persona y amiga, gracias totales.

A los docentes y profesionales de la ESPAM MFL, por enseñarnos en nuestra etapa universitaria con sus conocimientos, guía, paciencia y constancia, a formarnos como profesionales.

A nuestros padres los seres más importantes de nuestras vidas, por ser amigos, guías y brindarnos todo su apoyo en los momentos buenos y difíciles, dándonos valor e impulso para cumplir nuestros objetivos y no caer en los momentos duros de nuestra etapa estudiantil y en nuestra vida, gracias a ellos y a su motivación a ser mejores personas y cumplir nuestros propósitos este sueño no se hubiese hecho realidad.

LAS AUTORAS

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida, por los momentos difíciles y los triunfos obtenidos que me han enseñado a valorar cada momento vivido.

A mis abuelos, Walter Esmeraldas e Inés Rivera por ser las personas que me han apoyado incondicionalmente y estar siempre a mi lado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida, que con sus consejos han sabido guiarme.

A mi esposo Carlos Arteaga por ser la persona que me ha acompañado durante este arduo camino para convertirme en una profesional.

A mi hijo Piero Arteaga por ser ese pilar fundamental y de inspiración para culminar mi carrera profesional.

PATRICIA K. ESMERALDAS VERA

DEDICATORIA

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

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

A mi amado esposo Luis Saúl Cueva gracias ya que su ayuda ha sido fundamental, ha estado conmigo incluso en los momentos más complicados. Este proyecto no ha sido fácil, pero estuvo motivándome y ayudándome hasta donde sus alcances lo permitían.

A todas y cada una de las personas que han conformado parte de mi formación en todos estos años.

JENNY R. ZAMBRANO ZAMBRANO

CONTENIDO

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORA	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi-vii
RESUMEN	xiii
PALABRAS CLAVES	xiii
KEY WORDS	xiv
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.2. OBJETIVO.....	4
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. AGUA	5
2.2. CALIDAD DEL AGUA.....	6
2.3. CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES	6
2.4. CONTAMINACIÓN DE AGUA POR METALES PESADOS	7

2.5. CONTAMINACIÓN DE LOS SEDIMENTOS POR METALES	
PESADOS	8
2.6. MERCURIO Hg	9
2.7. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR MERCURIO	10
2.8. CONTAMINACIÓN DE LOS SEDIMENTOS POR MERCURIO	11
2.9. EFECTOS DEL MERCURIO EN LA VIDA ACUÁTICA	11
2.10. EFECTOS DEL MERCURIO EN LA SALUD	12
2.11. RÍO CARRIZAL	13
2.12. ESTACIONES DE MUESTREO	13
2.13. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.)	14
2.14. MUESTREO DE AGUA SUPERFICIALES	14
2.15. MUESTREO DE SEDIMENTOS	15
2.16. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE METALES	15
2.16.1. ESPÉCTOMETRIA	15
2.16.2. ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN	16
2.17. ANÁLISIS DE MERCURIO	16
2.18. DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO (CV-AAS)	17
2.19. NORMAS	19
2.20. TULSMA LIBRO VI ANEXO I	19
2.20.1. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO	20

2.20.2. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, Y EN AGUAS MARINAS Y DE ESTUARIOS.	21
2.20.3. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS DE USO AGRÍCOLA O DE RIEGO	21
2.21. NORMATIVA INTERNACIONAL CANADIAN SEDIMENT QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE	21
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	23
3.1. UBICACIÓN	23
3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO	23
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.4. VARIABLES EN ESTUDIO	23
3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	23
3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE	23
3.5. PROCEDIMIENTOS.....	23
3.5.1. FASE 1: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL	24
3.5.2. FASE 2: ESTABLECIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.5.3. FASE 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS NORMATIVAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES ..	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. RESULTADOS	29

4.1.1. FASE 1: DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL	29
4.1.2. FASE 2: ESTABLECER LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	32
4.1.3. FASE 3. ANALIZAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS NORMATIVAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES.	33
4.2. DISCUSIÓN	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
5.1. CONCLUSIONES.....	37
5.2. RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANAEXOS	43

CONTENIDO DE CUADROS

CUADRO 2.21. NORMATIVA INTERNACIONAL CANADIAN SEDIMENT QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE.....	22
CUADRO 4.1. COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.....	29
GRAFICO 4.1. MAPA CARTOGRAFÍCO DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO CARRIZAL.....	29

GRAFICO 4.2. PRESENCIA DE MERCURIO DE AGUA SUPERFICIALES DEL RÍO CARRIZAL.....	31
GRAFICO 4.3. PRESENCIA DE MERCURIO EN SEDIMENTOS DEL RÍO CARRIZAL.....	31
CUADRO 4.2. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIOS A LA MUESTRA DE AGUA SUPERFICIAL.....	33
CUADRO 4.3. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIOS A LA MUESTRA DE SEDIMENTO.....	34

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la concentración de mercurio en agua y sedimento y su efecto probable sobre la vida acuática, en el río Carrizal del cantón Bolívar, provincia de Manabí, con el fin de evaluar la contaminación existente en dicho río. En este estudio se establecieron nueve estaciones de muestreo, ubicados en los sitios La Esperanza, Quiroga, Barranco Colorado, Sarampión, Mata Palo, Los Almendros, San Bartolo, La Karina y El Limón, de acuerdo a lo establecido en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (2016), de la autoridad nacional del agua del Perú, donde se tomaron muestras de agua y sedimento en cada lugar georreferenciado, durante los meses de febrero, marzo y abril. Esta investigación es cuantitativa no experimental y los análisis se realizaron en el laboratorio de medio ambiente de la ESPE (Escuela Superior Politécnica Del Ejército), donde se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica de vapor de frío con generación de hidruros, en el cual se obtuvieron los siguientes resultados: Mercurio en agua superficial donde los resultados máximo y mínimo se dieron en el mes de febrero de 2,105 ppm en la estación #1 y en la estación #5 fue de 0,062 ppm, en marzo y abril las cuales estuvieron entre 0,246 hasta 0,094 ppm. Mercurio en sedimentos fue desde 1,157 mg/L hasta 0,080 mg/L en los meses antes mencionados, los mismos que fueron comparados con los valores establecidos en la legislación ambiental ecuatoriana (Acuerdo ministerial No 061), para agua superficiales y para sedimento la norma internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life, lo cual permitió concluir que las actividades antropogénicas generan contaminación por Hg en el río Carrizal causada principalmente por actividades agrícolas, lo que provoca efectos biológicos ocasionales para la vida acuática, afectando así la calidad del agua en diferentes épocas del año.

PALABRAS CLAVES

Contaminación por mercurio, aguas superficiales, sedimentos, legislación ambiental.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the concentration of mercury in water and sediment and its probable effect on aquatic life, in the Carrizal of the cantón Bolívar River, province of Manabí, in order to evaluate the contamination existing in said river. In this study nine sampling stations were established, located in the sites of La Esperanza, Quiroga, Barranco Colorado, Measles, Mata Palo, Los Almendros, San Bartolo, La Karina and El Limón, according to the provisions of the "Monitoring Protocol of the Quality of Water Resources "(2016), from the national water authority of Peru, where water and sediment samples were taken in each geo-referenced place, during the months of February, March and April. This research is non-experimental quantitative and the analyzes were conducted in the environment laboratory of the ESPE (Polytechnic School of the Army), where they were made by spectrophotometry of cold vapor atomic absorption with generation of hydrides, in which were obtained the following results: Mercury in surface water where the maximum and minimum results were in the month of February of 2,105 ppm in station # 1 and station # 5 was 0.062 ppm, in March and April which were between 0.246 0.094 ppm. Mercury in sediments was from 1,157 mg / L to 0,080 mg / L in the aforementioned months, which were compared with the values established in the Ecuadorian environmental legislation (Ministerial Agreement No. 061), for surface water and for sediment the international standard Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, which allowed to conclude that anthropogenic activities generate Hg contamination in the Carrizal River caused mainly by agricultural activities, which causes occasional biological effects for aquatic life, thus affecting water quality at different times of the year.

KEY WORDS

Mercury contamination, surface water, sediments, environmental legislation.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En las últimas décadas el medio ambiente acuático se ha visto amenazado a escala mundial por la presencia de metales pesados provenientes de la agricultura, desechos industriales y de origen urbano que afectan directamente los recursos hídricos y alteran su temperatura, pH, presión de oxígeno, alcalinidad y dureza del agua, causando impactos sobre el ecosistema y la salud pública (Mancera *et al.*, 2006).

Actualmente los niveles de metales pesados en los sistemas acuáticos se han incrementado, por lo que es importante su estudio, ya que su presencia puede alterar la calidad del agua, afectando la salud animal y por ende la salud humana, ya que los peces son fuente de alimentación (Frers, 2007).

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. El grado de bioacumulación es el resultado del balance entre la tasa de entrada y la tasa de eliminación. Estos procesos se deben básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo (Jiménez, 2012).

La contaminación por mercurio se ha extendido a causa del gran número de aplicaciones agrícolas e industriales, en su forma inorgánica como catalizadores en la síntesis de componentes industriales importantes, los cuales se encuentran presente en los fungicidas, en la fabricación de papel y en las pinturas, el mercurio actualmente se encuentra en concentraciones residuales del agua, tierra, animales y en el cuerpo humano (Cabrera, Ruiz, y Javier, 2007).

Una posibilidad que da lugar a la movilización del Hg es a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto, en consecuencia,

con estos compuestos presentan una elevada toxicidad. La metilación de metales inorgánicos por bacterias es un fenómeno geoquímico relativamente importante que pueden presentar elementos traza como mercurio, especialmente importante es la metilación de Hg resultando CH_3Hg^+ , este compuesto mucho más tóxico que el mercurio (Boy, 2015).

Por acción microbiológica y abiótica se producen transformaciones de las especies de mercurio en la atmósfera y en los ecosistemas terrestres y acuáticos, generándose así un ciclo global del mercurio. Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos acuáticos y ascender por la cadena alimenticia, los ríos son los ecosistemas que más se afectan por la presencia del mercurio debido a la formación de rutas de transporte hacia las llanuras aluviales de la cuenca, cuando los organismos están expuestos a la contaminación por mercurio, se surte un proceso de biomagnificación (Cortes, 2017).

La contaminación del río Carrizal se da debido a las actividades antropogénicas poniendo en peligro a muchas especies, esto conlleva a la disminución tanto de flora como de fauna, y se debe al derrame de sustancias tóxicas como los fitosanitarios utilizados mayormente en la agricultura, lo cual contribuye al avance de la contaminación ambiental (Villapardo *et al.*, 2008).

La contaminación del río Carrizal se debe al inadecuado manejo de los procesos productivos, por lo que se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuál es el efecto probable sobre la vida acuática por la concentración de mercurio en agua y sedimento en el río Carrizal, del cantón Bolívar, provincia de Manabí?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La contaminación del agua por metales pesados afectan drásticamente la seguridad alimentaria y la salud pública, estudios recientes reportan presencia de metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd), zinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni) y arsénico (As) en hortalizas. Ya que la taza de contaminación del agua está estimada en 2000 millones de m³ diarios, por tanto en septiembre del 2015 la Asamblea de la ONU, acordó como objetivo: Asegurar la disponibilidad y la gestión sostenible de agua y saneamiento para todos los países asociados (Reyes et al., 2016).

Como consecuencia de las actividades antropogénicas, el control de la contaminación de las aguas, ha originado interés debido a la importancia de la calidad para la protección de la salud y del medio ambiente; esto en relación con lo establecido por la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, uso y aprovechamiento del agua, en su art. 12 en su segundo párrafo: La Autoridad Única del Agua, los Gobiernos Autónomos Descentralizados, los usuarios, las comunas, pueblos, nacionalidades y los propietarios de predios donde se encuentren fuentes de agua, serán responsables de su manejo sustentable e integrado así como de la protección y conservación de dichas fuentes, de conformidad con las normas de la presente Ley y las normas técnicas que dicte la Autoridad Única del Agua, en coordinación con la Autoridad Ambiental Nacional y las prácticas ancestrales (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, 2014).

Llevar a cabo esta investigación, permitirá establecer la concentración de mercurio presente tanto en el agua como en el sedimento del río Carrizal, y así determinar si los resultados causan un efecto probable sobre la vida acuática comparando los resultados con las normativas vigentes.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la concentración de mercurio en agua y sedimento y su efecto probable sobre la vida acuática, en el río Carrizal del cantón Bolívar, provincia de Manabí.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de mercurio en agua y sedimento en el río Carrizal.
- Establecer la distribución espacial del metal en el área de estudio.
- Analizar los resultados obtenidos con la normativa vigente (nacional e internacional).

1.3. HIPÓTESIS

La concentración de mercurio en agua y sedimento del río Carrizal, 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. AGUA

La vida depende del agua tanto para los organismos que viven en ambientes acuáticos como para aquellos que viven en ecosistemas aeroterrestres (Fernández *et al.*, 2005). El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO 2011). Es el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida, es considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación y circulación, de lo contrario es un recurso no renovable en una localidad determinada (Contretas *et al.*, 2004).

Es agua es un compuesto extraordinariamente simple, sin embargo es una sustancia de características tan excepcionales y únicas que sin ella sería imposible la vida. El hombre tiene necesidad de agua para realizar sus funciones vitales, para preparar y cocinar los alimentos, para la higiene y los usos domésticos, para regar los campos, para la industria, para las centrales de energía. Es el medio en el que funcionan todos los sistemas de transporte, permitiendo el intercambio de sustancias (Carvajal, y González, 2012).

El agua contiene características físicas y químicas de gran trascendencia en sus funciones biológicas, sobre todo en las relacionadas con su capacidad solvente, de transporte, estructural y termorreguladora, las funciones de los sistemas biológicos pueden explicarse siempre en términos de procesos físicos y químicos (Carvajal, y González, 2012).

FAO en el (2011) confirma que la agricultura, en el mayor usuario del agua dulce a escala mundial y principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química, justifica la preocupación existente por sus repercusiones mundiales en la calidad del agua a escala mundial.

2.2. CALIDAD DEL AGUA

La calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana. El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico. Los procesos biológicos en el medio acuático pueden alterar la composición física y química del agua (Organización de las Naciones Unidas DAES, 2014).

La adición de sustancias extrañas al agua deteriora su calidad, estas sustancias pueden ser de origen vivo como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos (aguas residuales principalmente); o de origen inerte como sustancias tóxicas provenientes de la erosión de los suelos, actividades mineras, agrícolas e industriales (Rondón, 2012).

El sector de la elaboración agroalimentaria, es también una fuente significativa de contaminación orgánica en la mayor parte de los países. En la actualidad, la acuicultura es también un importante problema en los medios de agua dulce, estuarios y costas, lo que ha dado lugar a eutrofización y daños en los ecosistemas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2011).

2.3. CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, causan efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos. Estos ecosistemas conservan un riesgo histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar, a su recorrido y al interactuar con las corrientes de agua que ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua (Herrera, *et al.*, 2013).

Los contaminantes naturales a través de su ciclo pueden entrar en contacto con ciertos constituyentes que se vierten en las aguas, mientras que los contaminantes artificiales generalmente su origen es antrópico de los desechos

líquidos y sólidos que se vierten en las aguas como las sustancias de sumideros sanitarios, sustancias provenientes de desechos industriales, sustancias empleadas en la agricultura (Rondón, 2012).

En la actualidad se estima que más de un millón de sustancias diferentes son introducidas en las aguas naturales a través de los vertidos antropogénicos, las que pueden alterar las características organolépticas del agua, perturbar severamente el ecosistema y ser directamente nocivas para el hombre (Förstner, 1993).

La contaminación por metales pesados puede llegar a afectar a todo tipo de ecosistemas acuáticos debido a su permanencia en el medio natural tras el vertido. Pueden alcanzar acuíferos por infiltración de estos compuestos, dependiendo en muchos casos de factores como el pH del medio o del propio vertido como también pueden alcanzar zonas húmedas o lagunas por escorrentía o incluso por la alimentación desde acuíferos o ríos (Vílchez, R. 2005).

2.4. CONTAMINACIÓN DE AGUA POR METALES PESADOS

La contaminación de las aguas hoy en día es un problema alarmante en todos los países. En el mundo la población crece y el consumo de agua se duplica cada veinte años. Así las aguas residuales que generan las actividades industriales y domésticas también aumentan, de las cuales sólo el 5% son tratadas para purificarlas y reciclarlas. Datos reportados por las Naciones Unidas muestran que una de cada cinco personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, mientras que alrededor de 2400 millones carecen de condiciones adecuadas de salubridad (ONU 2014).

Todas las actividades humanas generan un impacto sobre el medio ambiente, los metales pesados han sido identificados como uno de los contaminantes más peligrosos en ecosistemas acuáticos, al no ser química ni biológicamente degradables pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. El impacto que generan estos elementos limita el uso y la explotación de los recursos naturales, ya que su elevada toxicidad y acumulación sugiere una

amenaza a largo plazo para el medio ambiente y la salud pública (Jiménez, 2012).

Los metales pesados presentan serios problemas para los ecosistemas acuáticos, por su disposición en los sedimentos, los cuales provienen de la meteorización de rocas y la erosión del suelo. A través del ciclo hidrológico también ingresan los metales pesados a las aguas superficiales de los ríos, es por ellos que el monitoreo de metales pesados por actividades antropogénicas es importante para la valorización de la calidad y protección de los ecosistemas (Márquez, *et al.*, 2012).

2.5. CONTAMINACIÓN DE LOS SEDIMENTOS POR METALES PESADOS

Los sedimentos ribereños son constituidos por la fracción sedimentable, orgánica y mineral de los sólidos suspendidos, producidos en la oxigenación de compuestos orgánicos, los cuales ingresan al cauce por aporte de aguas domésticas y escorrentía superficial. El aumento del caudal puede afectar drásticamente a su lecho, así como la distribución del sedimento, generando problemas en el establecimiento de modelos aplicados a la hidroquímica (Herrera *et al.*, 2013).

Estos depósitos tienen un gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación. Así, variaciones de pH, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua pueden provocar movilización y resuspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesado (Marín *et al.*, 2016).

Los sedimentos tienen una capacidad extraordinaria de acumular metales en formas poco biodisponible, debido a sus propiedades físicas, químicas y por ser ricos en materia orgánica y en sulfuros. Los cambios en las propiedades del sedimento como el pH, potencial redox, condiciones anaeróbicas y aeróbicas, así convirtiéndose en fuentes secundarias de contaminación (Espinosa, Parra, y Villamil, 2011).

2.6. MERCURIO Hg

El mercurio es un metal líquido, pesado y ligeramente volátil a temperatura ambiente, en estado sólido es blanco, se encuentra en la corteza terrestre en combinación con azufre, a partir de este mineral se obtiene principalmente el mercurio metálico (Cortes, 2017). El mercurio se genera de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas, el mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio (Rivera y Valencia, 2013).

Es un metal pesado plateado que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. Es un mal conductor del calor comparado con otros metales, aunque no es mal conductor de la electricidad. Se alea fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo amalgamas. Es insoluble en agua y soluble en ácido nítrico. Cuando aumenta su temperatura produce vapores tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire (Martín, 2008).

Es un elemento que existe naturalmente en el medio ambiente. Proviene principalmente de la desgasificación de la corteza terrestre a través de emisiones volcánicas, las cuales alcanzan valores entre 25 000 y 125 000 toneladas por año, así como también de la evaporación de los océanos. Se encuentra en la naturaleza en diferentes formas, ya sea como metal, vapor, combinado con otros elementos como cloro, oxígeno y azufre, formando sales inorgánicas o compuestos orgánicos, siendo el más común de ellos el metilmercurio (Castelo, 2015)

El mercurio se extrae como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio). A lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico. Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio son: sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl₂). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio (Camargo, Arias, y Muñoz, 2014).

2.7. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR MERCURIO

El agua del ecosistema es vulnerable a la contaminación por mercurio y puede pasar directamente a la cadena alimentaria, es posible encontrar niveles superiores de contaminación por mercurio en el agua debido a la contaminación procedente de los residuos industriales y urbanos sin tratar, el clima local, la topografía, la geología y la hidrología también han influido en los niveles de mercurio detectables en las aguas superficiales (Cabrera, Ruiz, y Javier, 2007).

El sistema acuoso regula las tasas de adsorción y absorción en el sistema agua sedimento, la adsorción remueve el metal de la columna de agua y luego este puede ser incorporado nuevamente; la salinidad, el pH y el potencial redox regulan estos procesos. Un incremento en la salinidad implica una competencia por mantenerse ligado a la materia orgánica, por tanto se liberan los metales pesados a la columna de agua. (Cogua, Campos, y Duque, 2012).

En medios acuosos, el mercurio está presente en forma de sales inorgánicas, los niveles de metilmercurio en las aguas son menores que los de mercurio inorgánico. Se estima que la concentración de mercurio total en las aguas naturales oscila entre 0,2 y 100 µg/L. La cual se ha estimado que la vida del mercurio en agua puede ser de unos pocos minutos a muchos años (Boy, 2015).

La contaminación acuática por mercurio, generada por el proceso de industrialización o por procesos naturales, constituye uno de los problemas ambientales más críticos en la actualidad, debido a su alta toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación y bioconcentración (también conocida como biomagnificación). 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 (Posada y Arroyave, 2006).

2.8. CONTAMINACIÓN DE LOS SEDIMENTOS POR MERCURIO

En el sedimento la forma más común de encontrar el mercurio es en estado divalente Hg (II), su reducción a un estado de oxidación Hg (I) tiene un rango de estabilidad limitada, y la forma metálica Hg (0), es algo volátil. La coexistencia de especies de mercurio en el sedimento, depende de numerosos factores, entre ellos: el tipo de sedimentos, la concentración de los diferentes ligantes, la evolución de los microorganismos, el pH, el potencial redox, los contenidos de cloruros, de azufre y el tipo de impacto antropogénico (Cortes, 2017).

Dentro de los ecosistemas acuáticos, los sedimentos funcionan como trampas naturales de xenobióticos y constituyen el principal reservorio de la mayoría de las sustancias de origen antrópico. El Hg suele quedar atrapado en los sedimentos, permaneciendo en formas que son poco biodisponibles y difíciles de remover, debido a la presencia de materia orgánica. Dado estos antecedentes, los análisis químicos de los sedimentos adquieren un gran valor científico en el estudio de los ecosistemas, pues con ellos se logra obtener un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar en las zonas próximas a su recorrido (Marín *et al.*, 2016).

Los sedimentos constituyen un excelente indicador del grado de contaminación para un área determinada, teniendo en cuenta que los contaminantes orgánicos persistentes se adsorben sobre el material en suspensión, que tiende a sedimentarse y finalmente se acumulan en los sedimentos superficiales; constituyen así un testigo confiable de la afectación de un ecosistema, los análisis de sedimentos acuáticos tienen un papel especial en la valoración de la contaminación por mercurio, porque sus resultados pueden revelar el estatus actual de la deposición ambiental (Cogua, Campos, y Duque, 2012).

2.9. EFECTOS DEL MERCURIO EN LA VIDA ACUÁTICA

La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas del pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales

contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio (PNUMA 2005).

El mercurio en el aire eventualmente se asienta en el agua y en el suelo donde puede fluir al agua. Los peces y los mariscos son las principales fuentes de exposición de mercurio metílico en los seres humanos. Los niveles de mercurio metílico en los peces y los mariscos dependen de lo que comen, cuánto tiempo viven y cuán avanzados estén en la cadena alimenticia (Toro, 2013). Estudios realizados con especies marinas advierten sobre tal efecto acumulativo y su transferencia en la cadena trófica, y afirman que varios metales pesados pueden ser considerados como agentes genotóxicos (Laino *et al.*, 2015).

En los ambientes contaminados por metales pesados se altera la capacidad de supervivencia de los organismos, lo que afecta la dinámica poblacional de las especies y, por tanto, la estructura y función ecosistémica. 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).

2.10. EFECTOS DEL MERCURIO EN LA SALUD

El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta (Laino *et al.*, 2015).

El vapor de Hg se absorbe rápidamente en los pulmones. En forma líquida o vapor apenas se absorbe por la vía gastrointestinal. Por su gran liposolubilidad se difunde a los tejidos atravesando fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta, el Hg se oxida a ion mercúrico perdiendo la capacidad de difundirse, queda luego retenido en los glóbulos rojos, sistema nervioso central (SNC) y riñones (Boy, 2015).

La concentración sanguínea de mercurio disminuye rápidamente, con una semivida bifásica. La vía de excreción más importante es la digestiva y, en menor porcentaje, la urinaria, respiratoria y sudorípara. En orina, la semivida es de 40-90 días. Este dato es importante pues se considera un marcador biológico de las exposiciones crónicas (Gaioli *et al.*, 2012).

El mercurio y sus compuestos son sumamente tóxicos, especialmente para el sistema nervioso en desarrollo. El nivel de toxicidad en seres humanos y otros organismos varía según la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta (Arana, 2009).

La exposición al mercurio antes del nacimiento y durante la infancia puede causar retraso mental, parálisis cerebral, sordera y ceguera. 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 (Posada y Arroyave, 2006).

2.11. RÍO CARRIZAL

El río Carrizal es la principal cuenca hidrográfica del cantón Bolívar, cuyo territorio tiene una extensión de 552 km². En el cantón Bolívar, se extiende una plataforma levemente ondulada, que varía entre los 20 msnm y los 10 msnm, atravesada por una red hidrográfica con vertientes provenientes de la cordillera, cuyo principal río es el Carrizal, que pasa por el límite oriental de Calceta, a la que ingresa desde el sur y se desvía en dirección al oriente. Dos afluentes del Carrizal, llegan a éste, en el área de Calceta, desde el sur occidente. Son el río Mosca y el estero de Mocochoal (Cárdenas *et al.*, 2012).

2.12. ESTACIONES DE MUESTREO

El área de influencia puede abarcar una gran superficie, combinando labores antiguas, con las operaciones actuales. Independientemente con la complejidad, en donde existen características que proporcionan la base para identificar donde efectuar el muestreo (INECC-CCA, 2010). El objetivo del

muestreo es determinar los puntos para tomar las muestras para los respectivos análisis. Recordando que las estaciones de muestreo, tienen todos los componentes necesarios para medir y regular los valores de las muestras que se vayan a tomar o a estudiar (Cárdenas *et al.*, 2012).

Conforme al reconocimiento del área de estudio se debe establecer puntos de muestreo en zonas estratégicas que presentaron una mayor susceptibilidad a cambios ambientales como se expresa en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (2016), de la autoridad nacional del agua del Perú que establece criterios de ubicación para puntos después del paso de poblaciones y de posibles fuentes de contaminación, además de la accesibilidad a las fuentes hídricas y dependiendo de la geomorfología del terreno.

2.13. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (S.I.G.)

Los SIG han puesto un cambio paradigmático tecnológico e intelectual, fundamentalmente en el ámbito de las geociencias y de la cartografía, este paradigma debe ser entendido como el conjunto de procedimientos técnicos y metodológicos que permiten: tratar la espacialidad de los datos, y favorecer el estudio de la realidad desde enfoques multidimensionales e integrados. Un SIG es un sistema informatizado de propósito general, para el manejo de (captación, almacenamiento, consulta, análisis y representación) de la información localizada geográficamente. Definiciones basadas en sus aplicaciones y objetivos: Sistema de información asistido por computador para la captura, y presentación de la información espacial dentro de una organización, con función de servir de soporte racionalizados a la toma de decisiones y la mejor definición de un SIG (Fernández, 2013).

2.14. MUESTREO DE AGUA SUPERFICIALES

De acuerdo con Mancilla (2011), establece que para el muestreo de agua superficial con respecto al mercurio, se puede utilizar tubos de vidrio pirex o recientes de polietileno de alta densidad. Las muestras se tomaran en el centro del caudal sumergiendo los tubos a unos 0,50 m, los tubos deben estar

totalmente esterilizados, deben ser almacenados a una temperatura de 4 °C evitando congelamiento, y pueden estar almacenada hasta seis meses.

Un equipo de muestreo puede ser tan simple como una botella de vidrio, metálica o de plástico provista de un tapón, que se llena con el agua objeto del posterior análisis: además, el tema se puede complicar mucho utilizando en muchos casos sofisticados equipos. Características comunes a cualquier equipo de muestreo son su robustez, comodidad en el manejo, facilidad en su transporte, capacidad adecuada de muestra y fácil limpieza una vez utilizada (Toro, 2013).

2.15. MUESTREO DE SEDIMENTOS

Al realizar el trabajo de campo se debe tener una idea previa de la distribución que los sedimentos pueden adoptar en el vaso al depositarse. Dicha distribución es el resultado de un proceso en el que intervienen, factores que influyen de alguna manera en la distribución de los sedimentos, como son la geometría del vaso, la presencia de corrientes de convección y la existencia de aportes laterales. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las similitudes y diferencias encontradas en la población, es decir ejemplificar las características de éste para garantizar la representatividad de los datos (Isla, 2013).

2.16. MÉTODOS DE DETECCIÓN DE METALES

2.16.1. ESPÉCTOMETRIA

La espectrometría es la técnica espectroscópica para evaluar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo (Boy, 2015). Es un método sensible y específico para la determinación cuantitativa de más de 60 metales o metaloides. Se basa en la cantidad de radiación absorbida por átomos en estado libre, para que ello ocurra se necesita que la longitud de onda (λ) del haz de luz incidente, coincida con la frecuencia de resonancia del

elemento que se está analizando y que los átomos del analito estén en estado libre (Castelo, 2015).

2.16.2. ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN

La espectrometría de absorción es una técnica en la cual la energía de un haz de luz se mide antes y después de la interacción con una muestra. Cuando se realiza con láser de diodo ajustable, se la conoce como espectroscopia de absorción con láser de diodo ajustable (Boy, 2015).

La espectrofotometría de absorción atómica está fundamentada en la capacidad que tienen los elementos, en su estado atómico basal, de absorber radiación electromagnética a longitudes de onda específicas para cada elemento. En esta técnica, los metales disueltos son llevados a su forma atómica elemental mediante calentamiento por una llama generada por una mezcla de gases combustibles (Rivera y Valencia, 2013).

2.17. ANÁLISIS DE MERCURIO

Los parámetros a evaluar durante el proceso de validación fueron: linealidad, exactitud, precisión, límite de detección, límite de cuantificación y el intervalo de confianza. El método que se debe seguir es el descrito en el manual del Espectrofotometría de Absorción Atómica de Vapor Frío del Standard Methods (Castelo, 2015).

- Abrir la llave de paso del tanque de argón.
- Colocar la lámpara de descarga para mercurio, antes de encender el equipo.
- Encender el equipo y la lámpara y esperar 30 minutos hasta su estabilización.
- Escoger en el software el método MHS 15 para generación de hidruros y abrir la carpeta del método para mercurio.
- Ingresar los valores de las concentraciones que se van a utilizar para realizar la curva de calibración y el número de repeticiones para cada uno.

- Alinear el haz de radiación proveniente de la lámpara con el tubo de cuarzo atomizador del sistema de generación de hidruros, de tal manera que se obtengan lecturas de la máxima absorbancia.
- Esperar a que la lámpara alcance su energía máxima.
- Colocar la solución del borohidruro de sodio 3% en la botella del agente reductor del sistema MHS 15.
- Colocar en el frasco de reacción del sistema generador de hidruros 10 mL de agua desmineralizada, añadir una gota de KMnO_4 5% y realizar una lectura. Repetir este proceso por triplicado con el objetivo de arrastrar residuos, si es que los hubiera, del tubo atomizador.
- Encerar el valor de la absorbancia.
- Escoger en el software la opción lectura del blanco, colocar en el frasco de reacción 10 mL de HNO_3 1,5%, añadir una gota de KMnO_4 y proceder a su lectura. Se debe dar clic a las opciones estándares o blanco al mismo tiempo que se presiona la válvula del reductor del sistema MHS 15.
- Escoger la opción estándares y proceder a la lectura de los mismos.
- Al finalizar la lectura de los estándares, el sistema muestra la curva de calibración con su ecuación y el coeficiente de correlación. Desde ese momento el sistema está listo para realizar la lectura de las muestras.

2.18. DETERMINACIÓN DE MERCURIO POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR GENERACIÓN DE VAPOR FRÍO (CV-AAS)

El método más utilizado para el análisis de mercurio en agua y pescados es el de absorción atómica-vapor frío que permite realizar análisis de mercurio (Castelo, 2015). La espectrofotometría de absorción atómica por vapor directo (FAA) es una técnica analítica que permite detección y la cuantificación de metales en solución. Los átomos absorben una fracción de la radiación proveniente de la lámpara y la fracción restante es captada por un fotodetector y un dispositivo transductor, que la convierten en una señal eléctrica, que posteriormente es registrada por un software (García, 2010).

La espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CV-AAS) puede considerarse como la metodología más popular para la determinación de mercurio en prácticamente cualquier tipo de muestra, ya que el mercurio es un elemento metálico que tiene una presión de vapor muy alta a temperaturas relativamente bajas y puede introducirse cuantitativamente en el espectrómetro como vapor sin dificultad (Rivera y Valencia, 2013).

La técnica de Espectrometría de Absorción Atómica de Vapor Frío, es una técnica sencilla, conocida desde hace mucho tiempo y claramente, sin embargo, los límites de detección con esta técnica no son lo suficientemente bajos como para llevar a cabo la determinación de mercurio en la mayoría de las muestras reales (Cortes, 2017).

El acoplamiento de un generador de hidruros al espectrómetro de absorción atómica (CV-AAS) aporta la sensibilidad requerida. La técnica de Generación de Hidruro, basada en la reacción de Marsh y Gutzeit en la cual se emplea zinc como reductor, se conoce bien desde hace bastantes años (Boy, 2015). Sin embargo, su adquisición y mantenimiento involucran costos elevados, en comparación con metodologías que usan GC-ECD, equipos comercialmente disponibles a bajo costo. No obstante, el uso de GC-ECD, a pesar del menor costo de adquisición de tecnologías (Cortes, 2017).

La técnica de CV-AAS consta de tres etapas fundamentales: la generación y volatilización del hidruro, la transferencia del mismo y su posterior atomización en el espectrómetro de Absorción Atómica (García, 2010). Entre los sistemas de generación de hidruros, los que combinan las ventajas de la inyección en flujo, con la posterior detección por espectrometría por absorción atómica, es de los más usadas en la determinación total de mercurio, porque es sensible, rápido y minimiza los efectos de las interferencias, si se lo compara con los métodos tradicionales, además resulta ser más cómodo de usar y apropiado para el análisis (Bolaños *et al.*, 2016).

2.19. NORMAS

La Ley de Gestión Ambiental, que se encuentra en el libro VI del TULSMA, establece los procedimientos para regular actividades y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental, entendiendo a esta como el conjunto de características del ambiente y la naturaleza que incluye el aire, el agua, el suelo y la biodiversidad, en relación a la ausencia o presencia de agentes nocivos que puedan afectar al mantenimiento y regeneración de los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza. (MAE, 2015). La Legislación canadiense para sedimento (Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life), establece los procedimientos para regular las actividades y responsabilidades según la Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME. 2015).

2.20. TULSMA LIBRO VI ANEXO I

La Constitución de la República del Ecuador, señala en su art. 154 que a las ministras y ministros de Estado, además de las atribuciones establecidas en la ley, les corresponde ejercer la rectoría de las políticas públicas del área a su cargo y expedir los acuerdos y resoluciones administrativas que requiera su gestión. Que, el artículo 1 del Decreto Ejecutivo No. 849, publicado en el Registro Oficial No. 522 de 29 de agosto 2011, faculta al Ministerio del Ambiente, que por tratarse de su ámbito de gestión, a expedir mediante Acuerdo Ministerial, las normas que estime pertinentes para sustituir el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, publicado en la Edición Especial No. 02 del Registro Oficial de 31 de marzo de 2003 (MAE, 2015).

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; y,
- 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).

2.20.1. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO

Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficial o subterránea, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como:

- Bebida y preparación de alimentos para consumo humano.
- Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.

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, deberán cumplir con criterios expuestos en el anexo 1 de las tablas 1.

2.20.2. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, Y EN AGUAS MARINAS Y DE ESTUARIOS.

Se entiende por uso del agua para la prevención de la vida acuática y silvestre, su empleo en actividades a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura (MAE, 2015). Se deberán cumplir con criterios expuestos en el anexo 1 tabla 2.

2.20.3. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS DE USO AGRÍCOLA O DE RIEGO

Se entiende por agua de uso agrícolas aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o completamente que establezcan los organismos competentes (MAE, 2015). Los criterios de calidad para aguas destinadas a uso agrícola, se presentan en el anexo 1 tabla 3.

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

A medida que se liberan sustancias químicas o sustancias en el medio ambiente a través de procesos naturales o humanas actividades, pueden entrar en ecosistemas acuáticos y participar en la fase de partículas. Porque los sedimentos comprenden un componente importante de los ecosistemas acuáticos, proporcionando hábitat para una amplia gama de bentónicos y epibentónicos organismos, exposición a ciertas sustancias en los sedimentos representa un riesgo potencialmente significativo para la salud de los organismos. Calidad del sedimento es herramienta científica que sintetizan información con respecto a las relaciones entre el sedimento concentraciones

de productos químicos y cualquier daño biológico efectos resultantes de la exposición a estos productos químicos (CCME. 2015).

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

Cuadro: Límites permisibles CCMM

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 medir la concentración de los contaminantes, allí atrapados en las partículas (Source, 2013).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó a lo largo del río Carrizal, en el cual se estableció como primer punto al sitio La Esperanza teniendo como coordenada 602324E y 9901991N, pasando por las estaciones ubicadas en los sitios Quiroga, Barranco Colorado, Sarampión, Mata Palo, Los Almendros, San Bartolo, La Karina, concluyendo en el sitio El Limón con coordenada 591243E y 9908517N. La hidrología del lugar la conforman la parte baja de la presa Sixto Durán, hasta el sitio El Limón del río Carrizal.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La presente investigación tuvo una duración de 10 meses a partir del mes de febrero del 2017 hasta el mes de noviembre del 2017.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue de tipo cuantitativa no experimental.

3.4. VARIABLES EN ESTUDIO

3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Concentración de mercurio en agua y sedimento.

3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Efecto probable sobre la vida acuática.

3.5. PROCEDIMIENTOS

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

3.5.1. FASE 1: DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL

3.5.1.1. ACTIVIDAD 1. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Conforme al reconocimiento del área de estudio se estableció, nueve puntos de muestreo en zonas estratégicas, que presentan una mayor susceptibilidad a cambios ambientales, como se expresa en el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos” (2016), de la autoridad nacional del agua del Perú que establece criterios de ubicación para puntos después del paso de poblaciones y de posibles fuentes de contaminación, además de la accesibilidad a las fuentes hídricas y dependiendo de la geomorfología del terreno. En este caso siguiendo lo expuesto en el protocolo los puntos se establecieron en zonas pobladas y de contaminación del río Carrizal.

Una vez establecidos los sitios se realizó la georreferenciación de los puntos seleccionados para el muestreo, y se utilizó como herramienta el programa ArcGis.

3.5.1.2. ACTIVIDAD 2. TOMA DE MUESTRA EN AGUA Y SEDIMENTO

MUESTREO DE MERCURIO EN AGUA

Las muestras de agua fueron tomadas en nueve estaciones de muestreo establecidas, realizando un monitoreo durante los meses de febrero, marzo y abril, estas se tomaron superficialmente, y se depositaron 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.

Para el muestreo las metodologías de Murgueitio *et al.* (2015) y Litter *et al.* (2009) recomendaron la utilización de tubos de vidrio Pyrex. Para la descontaminación de los frascos a ser empleados en la recolección de las

muestras de agua, se recomendó llenar el frasco con ácido nítrico 10% v/v dejándolo en inmersión por lo menos durante 24 horas.

De acuerdo a las recomendaciones de Litter *et al.* (2009), independientemente del objetivo del plan de muestreo, se tomaron las siguientes precauciones:

- La muestra no debía incluir partículas grandes, desechos, hojas u otro tipo de material accidental, salvo cuando se trata de muestras de sedimentos; además, fueron filtradas en algunos casos, como en el análisis de metales disueltos.
- Para minimizar la contaminación de la muestra, se almaceno con la boca del tubo de recolección contra la corriente.
- Se tomó un volumen suficiente de muestra para eventuales necesidades de repeticiones.
- Se limpiaron 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 tocó ni quedo expuesta al polvo, humo u otras impurezas.
- En la recolección se mantuvo las manos limpias y se usó guantes.
- Los frascos fueron llenados completamente e, inmediatamente después de la recolección, las muestras se conservaron fuera del alcance de la luz solar.
- Las muestras que exigieron refrigeración para su preservación se acondicionaron en cajas de polietileno con hielo inmediatamente después de la recolección. No se añadió sal al hielo para evitar una posible contaminación de las muestras.
- Se mantuvo un registro de todas las informaciones de campo y se llenó una ficha de recolección por muestra o conjunto de muestras de la misma característica.

MUESTREO DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

Las muestras de sedimento se tomaron hasta una profundidad de 20 cm del lecho del río. Estas muestras se depositaron en recipientes de vidrio esterilizados y enjuagados con agua desionizada.

Posteriormente, se le agregaron 2,5 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y 1 ml de HCl concentrado (ambos de alta pureza) y se dejó digerir por 3 horas más. Seguidamente, se centrifugaron a 3000 g por 45 min. Las muestras se enrasaron a 25 ml y se guardaron en refrigeración hasta su análisis. Para la determinación de Hg se tomaron 10 ml de la muestra previamente digerida, se le agrego algunas gotas de permanganato de potasio (KMnO₄) al 5% m/v libre de mercurio, hasta que se observó una coloración rosada permanente. El exceso de KMnO₄ se tituló con clorhidrato de hidroxilamina al 5% m/v. El mercurio se determinó utilizando generación de hidruros con atomización en una celda de cuarzo, en un Espectrómetro de Absorción Atómica Vapor-Frío en un equipo Shimadzu, AA 7000 (Marín *et al.*, 2016).

3.5.1.3. ACTIVIDAD 3. 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 febrero, marzo y abril.

Para la determinación de mercurio en aguas y sedimentos se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica vapor frío por generación continua de hidruros (Boy, 2015). Posteriormente las soluciones acidificadas fueron aforadas con agua desmineralizada hasta 25 ml y analizadas con el sistema (CV-AAS) (Bolaños *et al.*, 2016).

3.5.2. FASE 2: ESTABLECIMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

3.5.2.1. ACTIVIDAD 4. ELABORACIÓN DE MAPAS (IMAGEN SATELITAL, MAPA HIDROLÓGICO, MAPA DE DIVISIÓN POLÍTICA Y MAPA DE LOS LÍMITES DE LA SUBCUENCA QUE TRIBUTAN AL EMBALSE LA ESPERANZA)

Se realizó la representación cartográfica en formato A4, (Imagen satelital, mapa hidrológico, mapa de división política y mapa de los límites de la subcuenca que tributan al embalse La Esperanza) del área en estudio, para obtener mayor claridad en la ubicación específica de cada una de las estaciones.

3.5.2.2. ACTIVIDAD 5. ELABORACIÓN DE MAPAS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL METAL

Para observar la variación espacial del metal en las estaciones de muestreo, se elaboraron mapas de la distribución, representando las concentraciones con círculos proporcionales.

3.5.3. FASE 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS NORMATIVAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES

3.5.3.1. ACTIVIDAD 6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA

Los resultados obtenidos en agua superficiales fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), libro VI tabla 1, 2 y 3 del Ministerio del Ambiente, según Decreto Ejecutivo 3516, publicado en el Registro Oficial N° 361, del Acuerdo Ministerial 061, del 4 de mayo del 2015.

3.5.3.2. 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). Esta guía establece 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. RESULTADOS

4.1.1. FASE 1: DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL EN AGUA Y SEDIMENTO EN EL RÍO CARRIZAL

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

ESTACIONES	COORDENADAS	
	X	Y
E1: LA ESPERANZA	602324	9901991
E2: QUIROGA	600978	9902075
E3: BARRAMCO COLORADO	598961	9903302
E4: SARAMPION	596101	9903420
E5: MATA PALO	594588	9904209
E6: LOS ALMENDROS	594467	9905962
E7: SAN BARTOLO	593187	9905913
E8: LA KARINA	593176	9907087
E9: EL LIMON	591243	9908517

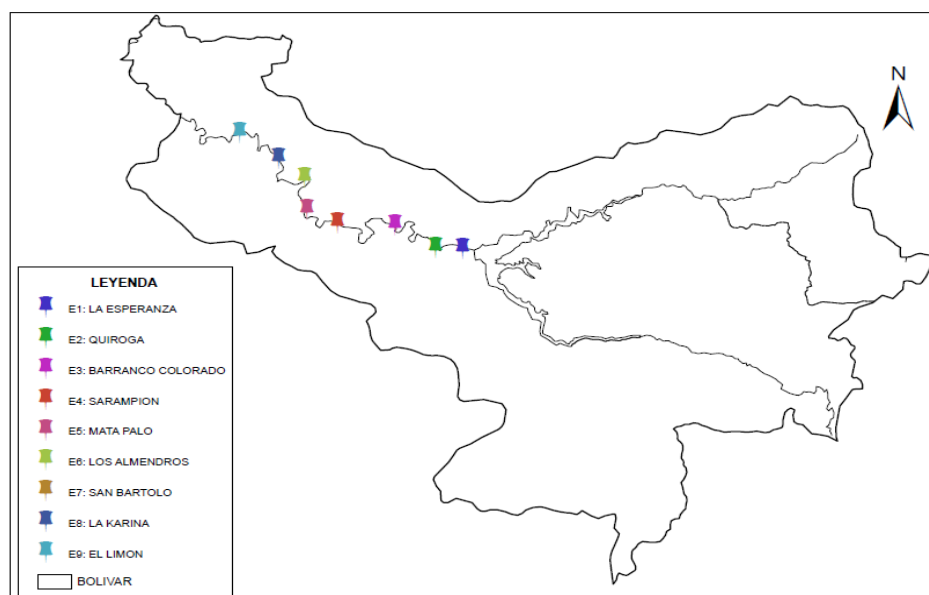


Grafico 4.1: Mapa cartográfico de la subcuenca del Río Carrizal

Se establecieron nueve estaciones de muestreo acorde a lo que establece el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos del Perú, que fueron denominadas de acuerdo a las comunidades donde se encuentran ubicadas.

La Esperanza fue la primera estación, específicamente en la parte baja del embalse donde ciertos moradores del sitio la utilizan para actividad agrícola como cultivos de maíz y arroz. La segunda estación fue en la parroquia Quiroga, donde encontramos actividades agropecuarias. La tercera estación se la estableció en el sitio de Barranco Colorado por su alto índice en la actividad agrícola y ganadera. La cuarta estación fue tomada en la comunidad de Sarampión por su alto índice de población y actividad agropecuaria. La quinta estación se la ubico en el sitio Mata Palo por su alta actividad ganadera. La sexta estación fue situada en el reciento los Almendros ya que en este sitio se realiza mucho la actividad agrícola. La séptima y la octava estación se las establecieron en la ciudad de Calceta, donde está el mayor índice demográfico urbano colocándolas en los barrios de San Bartolo y La Karina. La novena estación está ubicada en el sitio Limón a 10 metros de los tubos de descarga de agua de la bananera.

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:

En el gráfico 4.2: se puede observar la concentración de mercurio en las muestras de agua superficial obtenidas de los puntos de muestreos establecidos en el río Carrizal en los meses de febrero, marzo y abril de 2017.

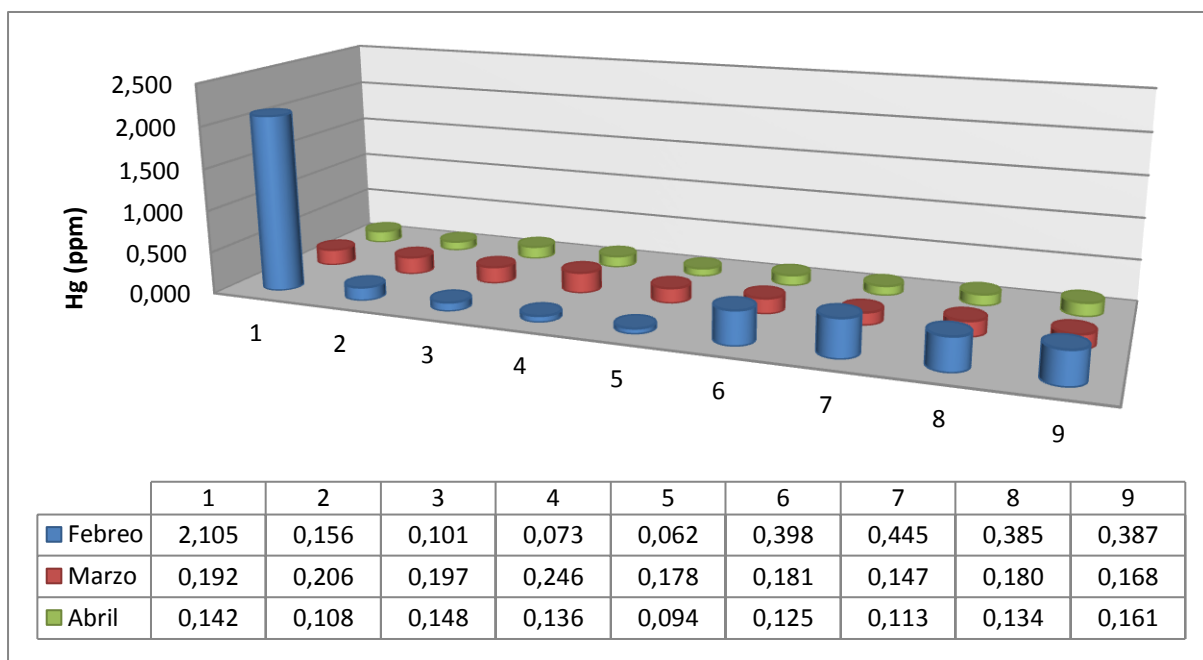


Grafico 4.2: Presencia de mercurio en muestras de agua superficiales del río Carrizal

La mayor concentración de mercurio presente en la muestra de agua superficial se registró en el punto de muestreo 1 (La Esperanza) con 2,105 ppm en Hg correspondiente al mes de febrero. La menor concentración fue registrada en la estación 5 (Mata Palo) con 0,062 ppm Hg en el mes de febrero, 0,073 ppm Hg (San Bartolo).

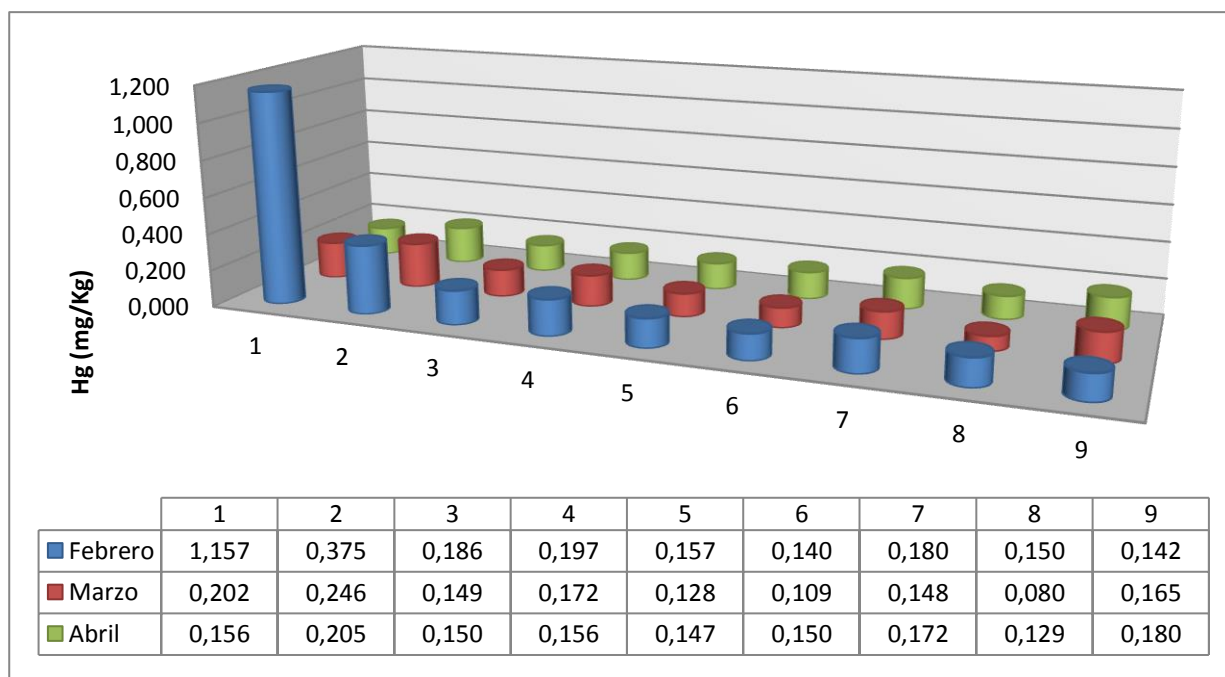


Grafico 4.3: Presencia de mercurio en muestras de sedimentos del río Carrizal

De acuerdo con el gráfico 4.3. La mayor concentración de mercurio se presentó en la muestra de sedimento en el punto de muestreo 1 (La Esperanza) con 1,157 mg/Kg correspondiente al mes de febrero, mientras que la menor concentración de mercurio en sedimento se registró en la estación 8 (La Karina) con 0,080 mg/Kg para el mes de marzo.

4.1.2. FASE 2: ESTABLECER LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL METAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Inicialmente se realizó la representación cartográfica de la subcuenca del río Carrizal a través de los Sistemas de Información Geográfica, con la finalidad de obtener dicha información, y efectuar el análisis respectivo para la identificación de las estaciones en las que se detecten presencia del 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 (anexo 1.2) el río Carrizal se encuentra dentro del cantón Bolívar, provincia de Manabí, está conformado por diversos esteros y ríos, entre los que se encuentran el río Mosca, estero Pavita.

Establecido el mapa hídrico de la subcuenca del río Carrizal (anexo 1.3) se pueden observar los ríos, esteros conformando el caudal de dicho río.

4.1.3. FASE 3. ANALIZAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON LAS NORMATIVAS VIGENTES NACIONALES E INTERNACIONALES

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

Parámetro	Unidad	Método	Puntos	2017			TULSMA		
				Febrero (ppm)	Marzo (ppm)	Abril (ppm)	LMP (Tabla 1)	LMP (Tabla 2)	LMP (Tabla 3)
Mercurio (Hg)	mg/L o ppm	APHA AWWA WEF 3112-B	1	2.105	0.192	0.142	0,006 ppm	0,0001 ppm	0,001 ppm
			2	0.156	0.206	0.108			
			3	0.101	0.197	0.148			
			4	0.073	0.246	0.136			
			5	0.062	0.178	0.094			
			6	0.398	0.181	0.125			
			7	0.445	0.147	0.113			
			8	0.385	0.180	0.134			
			9	0.387	0.168	0.161			

Los resultados de mercurio en muestras de agua superficial en el río Carrizal correspondiente a los meses de febrero, marzo y abril de 2017 de las 9 estaciones de muestreo, muestra valores que van desde 0,062 hasta 2,105 ppm, que según lo expuesto por el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (Libro VI anexo 1) se encuentra por encima de los límites máximos permisibles (0,006 mg/L) para aguas de consumo humano y uso doméstico (tabla 1), (0,0001 mg/L) para aguas de la prevención de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marinas y de estuarios (tabla 2) y (0,001 mg/L) para aguas de uso agrícola o de riego (tabla 3), considerando que son las principales actividades a la que es destinada el agua del Embalse La Esperanza de acuerdo con Montesdeoca y Zamora (2017), situación que contrasta con los resultados obtenidos por Andrade y Ponce (2016) quienes determinaron los niveles de mercurio en la microcuenca del río Carrizal se encuentran dentro de los límites máximo permisibles establecidos por el TULSMA, indicando que no existe contaminación metálica en ese recurso hídrico.

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

Parámetro	Unidad	Método	Puntos	2017			CEQG	
				Febrero (ppm)	Marzo (ppm)	Abril (ppm)	ISQG	PEL
Mercurio (Hg)	mg/L o ppm	APHA AWWA WEF 3112-B	1	1,157	0,202	0,156	0,170 mg/kg	0,486 mg/kg
			2	0,375	0,246	0,205		
			3	0,186	0,149	0,150		
			4	0,197	0,172	0,156		
			5	0,157	0,128	0,147		
			6	0,140	0,109	0,150		
			7	0,180	0,148	0,172		
			8	0,150	0,080	0,129		
			9	0,142	0,165	0,180		

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 río Carrizal 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 en muestras de sedimentos en el río Carrizal correspondiente a los meses de febrero, marzo y abril de 2017 de las 9 estaciones de muestreo, muestran valores que van desde 0,080 hasta 1,157 ppm, que según lo expuesto por las Guías de Calidad Ambiental Canadiense se encuentra por encima de los valores permisibles (0,0170 mg/kg) para el límite sobre la salud humana y la vida acuática, (0,486) para el límite de los efectos sobre la vida acuática.

4.2. DISCUSIÓN

Los resultados de mercurio presente en las muestras de agua superficial obtenidas del río Carrizal en los 9 puntos de muestreo exceden los límites máximos permisibles del libro VI anexo 1 del TULSMA (T1 0,006 – T2 0,0001 y T3 0,001), existiendo diferencias entre los meses, marzo y abril, ya que influye el barrido por las precipitaciones frecuentes. Esta situación puede ser contrastada, con la investigación realizada por Laino *et al.*, (2015), donde los valores más elevados del estudio se encontraron en las aguas de riego de los

municipios de Diezma (0,07-0,10 μ g/l), Albuñuelas (0,05-0,11 μ g/l) y Las Gabias (0,08- 0,12 μ g/l) y en junio de 2012, las concentraciones de Hg en todos los ríos, excepto en el río Molino, sobrepasaron el límite máximo permisible (LMP), según la norma mexicana y la canadiense. En época seca, los ríos Molino y Carrizal no presentaron alta contaminación. En enero de 2012 se encontraron las concentraciones de Hg más elevadas en los ríos Xelajú y Bacantón, 3.26 μ g/l y 2.58 μ g/l, respectivamente; estos valores sobrepasan los LMP (1 mg/kg) de las normas mexicana y canadiense LMP (0,026 mg/kg). En diciembre de 2012, los valores de Hg encontrados en los ríos Xelajú y Bacantón sobrepasaron el LMP de la norma canadiense, pero no el de la norma mexicana.

Los resultados de mercurio presente en las muestras de sedimentos obtenidas en el río Carrizal en los 9 puntos de muestreo exceden los límites máximos permisibles (ISQG: 0,170 mg/kg; PEL: 0,486 mg/kg), establecidos en la Norma Internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life (CEQG). Estos niveles pueden ser comparados con las concentraciones obtenidas por Marín *et al.* (2016), en donde afirma que la contaminación por mercurio en la tierra, no parece estar asociada a la presencia de mercurio en las aguas de riego, de las que se tomaron muestras en tres áreas, existiendo diferencias significativas en los niveles de Hg en los sedimentos ($KW_{BA} = 8,11$; $P=0,000$; $KW_{CC} = 10,88$; $P= 0,000$; $KW_{EH} = 23,00$; $P= 0,000$), donde en BA se encontró una concentración de $4,83 \pm 0,65$ mg de Hg.Kg⁻¹, en el Coco de 4,40 mg de Hg. Kg⁻¹ y en Huayláde de 7,6182 mg de Hg.Kg⁻¹. Los autores indican que las diferencias en los niveles de mercurio de los sedimentos superficiales en una misma localidad, demuestran una distribución del mercurio asociada a las características particulares de parches, relacionada con sedimentos más finos y mayor presencia de materia orgánica, y que esto supone microambientes apropiados para una mayor adsorción del Hg.

De acuerdo con la norma canadiense los sedimentos en el río Carrizal provocan efectos biológicos ocasionales, debido a que el resultado de los

análisis indica que los valores de concentración de mercurio en la muestra de sedimentos son mayores que el ISQG pero menores al PEL.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Según los criterios expuestos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de Agua, se establecieron nueve puntos de muestreo en el río Carrizal, distribuidos de la siguiente manera: el punto #1 es La Esperanza, el segundo punto es Quiroga, el punto #3 es Barranco Colorado, el cuarto punto corresponde a Sarampión, el #5 es Mata Palo, el sexto punto Los Almendros, el #7 y #8 punto ubicados en el casco urbano corresponden a San Bartolo y La Karina, finalmente el punto nueve fue ubicado en el sitio El Limón.
- La mayor concentración de mercurio presente en la muestra de agua superficial se registró en el punto de muestreo # 1 (La Esperanza) con 2,105 ppm correspondiente al mes de febrero. La menor concentración fue registrada en la estación #5 (Mata Palo) 0,062 correspondiente al mismo mes de febrero. De acuerdo con la tabla 1, 2 y 3 de la legislación ambiental vigente (TULSMA Libro VI Anexo 1) las concentraciones de mercurio detectadas en la muestra de agua superficial del río Carrizal se encuentra por encima del límite máximo permisible para consumo y uso doméstico, aguas para la prevención de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marinas y de estuarios y uso agrícola.
- Las concentraciones de mercurio encontradas en los sedimentos del río Carrizal exceden el límite máximo permisible del ISQG (0,170mg/kg) pero no están por encima del límite permisible establecido por el PEL (0,486 mg/kg), según la Norma Internacional Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic life (CEQG), lo que provoca efectos biológicos ocasionales sobre la vida acuática.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar otras investigaciones en zonas que no fueron consideradas en el estudio, con la finalidad de incluir a todos los riachuelos y ríos que conectan con el río del Carrizal.
- La delimitación en futuros estudios debe establecerse, cerca de las fuentes de descarga de aguas doméstica y de actividades agrícolas, que se efectúan adyacentes al río Carrizal.
- Es importante realizar estudios sobre el nivel de concentración metálica en peces para consumo humano en el embalse la esperanza y sus afluentes, ya que existe bioacumulación en tejidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Arana, M. 2009. El caso del derrame de mercurio en choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta. Pr. (en línea). Formato PDF. Consultado, 19 jul. 2015. Disponible en <http://redalyc.org/www.redalyc.org/articulo.oa?id=36311625019>
- Bolaños, Y., Cos, K., Guillén, A., y Torres, A. (2016). Validación del método de determinación de mercurio en muestras de sedimentos y tejidos biológicos utilizando un Analizador Directo de Mercurio. *Revista Cubana de Química*, 784-792.
- Boy, A. 2015. Determinación de metales pesados en Agua, Peces, Almejas E *Hydrilla verticillata* del lago Izabal. En Línea. Consultado 27 de may 2017. Formato PDF.
- Cabrera, C., Ruiz, M., y Javier, F. (2007). Mercurio en aguas del sureste de España: posible fuentes de contaminación. *Ars Pharm*, 37-53.
- Camargo, J., Arias, P., y Muñoz, D. (2014). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Acta Agronomia*, 165-177.
- Cárdenas, F; Andrade, W; Morales, G. 2012. Capitales humanos y natural disponible en la microcuenca del río Membrillo. (En línea). Consultado 10 de jul. 2017. Formato PDF.
- Carvajal, A; Gonzáles, M. 2012. Propiedades y funciones biológicas del agua. (En línea). Consultado el 25 de jul. 2017. Formato PDF.
- Castelo, M. (2015). Determinación de Arsénico y Mercurio en agua de consumo del cantón Rumiñahui por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Quito.
- Cagua, P., Campos, N., y Duque, G. (2012). Boletín de Investigación Marinas y Costera. Instituto, 267-285.
- Contreras, J; Mendoza, C; Gómez, A. 2004. Determinación de metales pesados en agua y sedimentos del río Haina, República Dominicana. (En línea). R.D. Consultado 12 de julio de 2016. Formato PDF.
- Cortes, C. (2017). Determinación de mercurio orgánico e inorgánico en muestras ambientales. *Universidad Y Ciencia*, 9-23.
- Espinosa, F., Parra, P., y Villamil, C. (2011). Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los malglares de la ciénaga grande de Santa Marta, Colombia. *Investigación Marinas y Consteras*, 7-23.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. El agua. En Línea. Consultado 12 de julio de 2016. Formato html.
- Fernández, J.; Galindo, G.; Parada, M.; Gimeno, D.; García, M.; Saavedra, J. 2005. Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: Origen, movilidad, tratamiento. (En línea). Consultado 07 de ago. 2017. Formato PDF.
- Fernández, L., 2013. Diseño de un modelo de soporte a la decisión de asignación de ubicaciones de mercadería en una bodega de agroquímicos. (En línea). Consultado 15 de ago. 2017. Formato PDF.
- Frers, C. 2007. Arsénico en el agua. (En línea). ARG. Consultado, 18 de mayo. 2016. Formato PDF.
- Förstner, U. 1993. Metal speciation General concepts and applications. En: Gómez S, 2002, "Estudio de Vulnerabilidad en Sequía en la Subcuenta Aguas Calientes", Tesis Msc, Turrialba Costa Rica, 140 P.
- Gaete, H., Aránguiz, F., y Cienfuegos, G. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile. Quim. Nova, 885-891.
- Gaioli, M; Amoedo, D; González, D. 2012. Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. Impact of mercury on human health and the environment. (En línea). AR. Consultado, 20 de jul. 2015. Disponible en Hidrográficas con Equidad de Género. San José, CR. Hivos/IUCN. 266p.
- Garcia, G. (2010). Determinacion de mercurio por generacion de vapor frio y deteccion via absorcion y fluorescencia atomica. Sartenejas.
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, M., Salgado, V., y Borbón, H. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Tecnología en Marcha, 27-36.
- Huaranga, F.; Méndez, E.; Quilcat, V.; Huaranga, F. 2012. Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. (En línea). Consultado 12 de ago. 2017. Formato PDF.
- INECC-CCA. (2010). Manual De Métodos De Muestreo Y Preservación De Muestras De Las Sustancias Prioritarias Para Las Matrices Prioritarias Del Proname. (En línea). MX. Consultado el 12 de julio, 2016. Formato PDF.
- Isla, M. (2013). Propuesta para la disposición final de los sedimentos del lago del parque recreativo alameda oriente, méxico d.f., con base en sus propiedades físicas, geoquímicas y la normatividad existente en materia. Tecnología en Marcha, 6-13.
- Jiménez, D. 2012. Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (crassostrea columbiensis) ostión de mangle en el puente portete del estero salado Guayaquil. (En línea). EC. Consultado 12 de julio de 2016. Formato PDF.

- Laino, R., Bello, R., Gonzalez, M., Ramiraz, N., Jimenez, F., y Musalem, K. (2015). Concentracion de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del rio Grijalva, frontera Mexico - Guatemala. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 61-74.
- MAE (Ministerio del Ambiente Ecuatoriano). 2015. Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria. (En línea). EC. Consultado 20 jul. 2016. Formato PDF.
- Mancera, J.; y Álvarez, R. 2006 Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. (En línea). CO. Consultado, 18 de may. 2016. Formato PDF.
- Mancilla, O., Ortega, H., Ramírez, C., Uscanga, E., Ramos, R., y Reyes, A. (2011). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, Mexico. *Internacional Contaminación y Ambiente*, 39-48.
- Marin, A., Gonzales, V., Lapo, B., Molina, E., y Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Gayana*, 147-153.
- Márquez, A., García, O., Senior, W., Martínez, G., González, A., y Fermín, I. (2012). Metales pesados en sedimento superficial del río Orinoco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 3-18.
- Martín, 2008. Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados. (En línea) Formato PDF. Consultado, 15 jul. 2015. Disponible en http://132.248.8.68/editorial/rica/congreso_tlaxcala/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_17_3/2.pdf
- Montes, M; Almirón, A; Casciotta, J. 2014. Métodos de muestreo para peces vieja campaña cátedra de zoología III. (En línea). Consultado el 08 de ago. 2017. Formato PDF.
- 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 05 de Jun, 2016. Formato PDF.
- OMS. Organización mundial de la salud. 2012. Arsénico. (En línea). Consultado 12 de julio de 2016. Formato PDF.
- ONU-DAES. Departamento de asuntos económicos y sociales de naciones unidas. 2014. Calidad del agua. (En línea). Consultado 12 de julio de 2016. Formato PDF.
- PNUMA (Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente), 2005. Evaluación Mundial Sobre El Mercurio. (En línea). Consultado 23, jul. 2015. Disponible en: Formato PDF

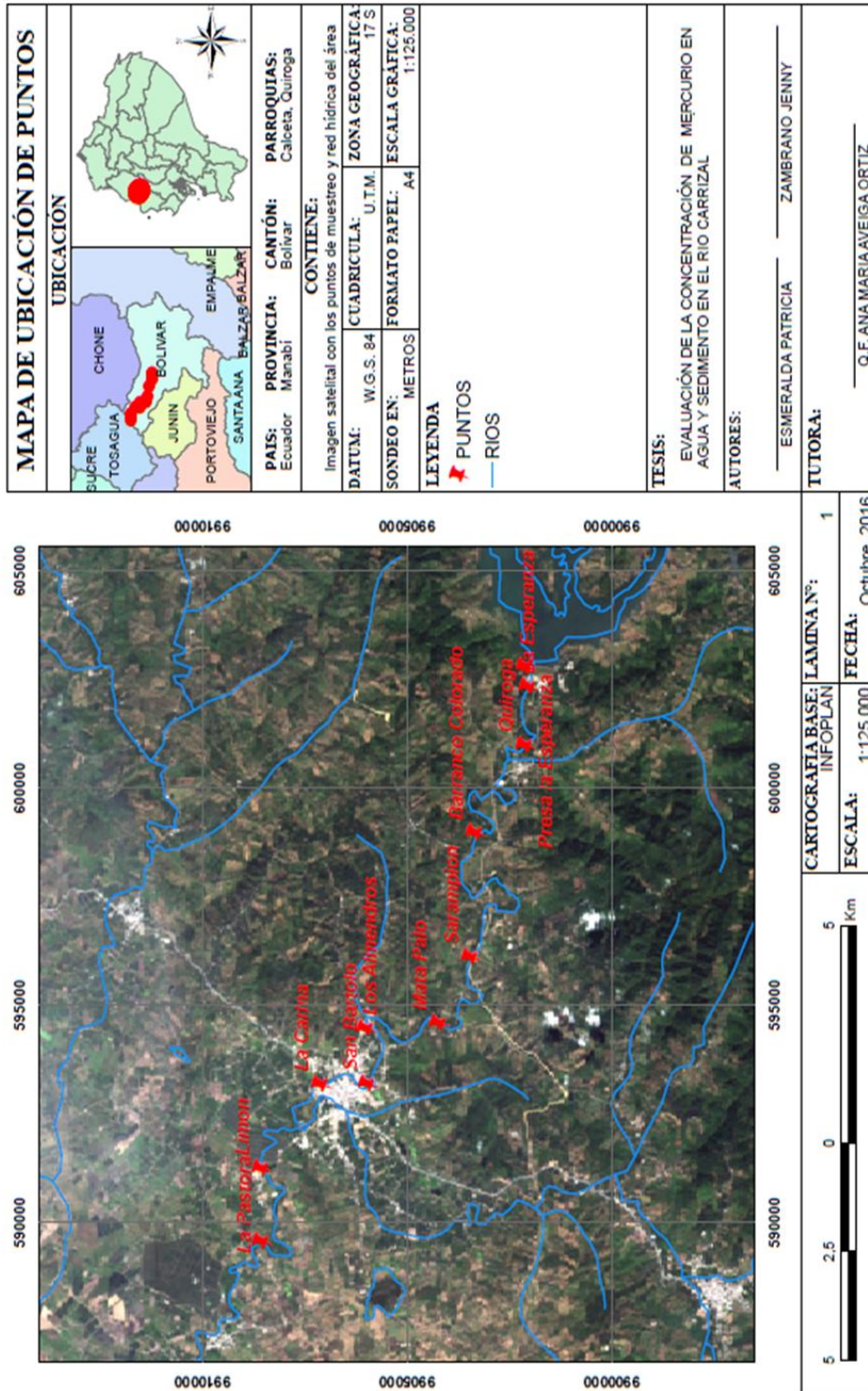
- Posada, M., y Arroyave, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *EIA*, ISSN, 57-67.
- Ley Organica de Recursos Hidricos. 2014 Uso y Aprovechamiento del Agua. Quito: Registro Oficial N. 305.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., & González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 66-77.
- Rivera, P., y Valencia, J. (2013). Validacion de la metodologia para el analisis de mercurio en agua tratada y cruda, y estandarizacion del analisis de mercurio en pescados por el metodo de absorcion atomica vapor frio para el laboratorio de analisis de aguas y alimentos. Pereira.
- 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.
- Rondón, J. 2012. La contaminación del agua. En Línea. Consultado 12 de julio de 2016. Formato PDF.
- Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente . 2003. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Quito: MAE.
- Toro, P. (2013). Determinación de los metales pesados Cobalto, Mercurio y Plomo en la represa Daule Peripa por medio de Espectrómetro de emisión atómica con fuente de Plasma de argón con Acoplamiento Inductivo. Quito.
- Vílchez, R. 2005. Eliminación De Metales Pesados De Aguas Subterráneas mediante Sistemas De Lechos Sumergidos. (En línea). ES. Consultado 18 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://hera.ugr.es/tesisugr/1542649x.pdf>
- Villaprado, M; Loor, A; Moreira, M. 2008. La contaminación del rio carrizal y su influencia en el ecosistema. (En línea). EC. Consultado, 23 de mayo. 2016. Disponible en <https://tosagua.wordpress.com/tosagua/el-carrizal/>

ANEXOS

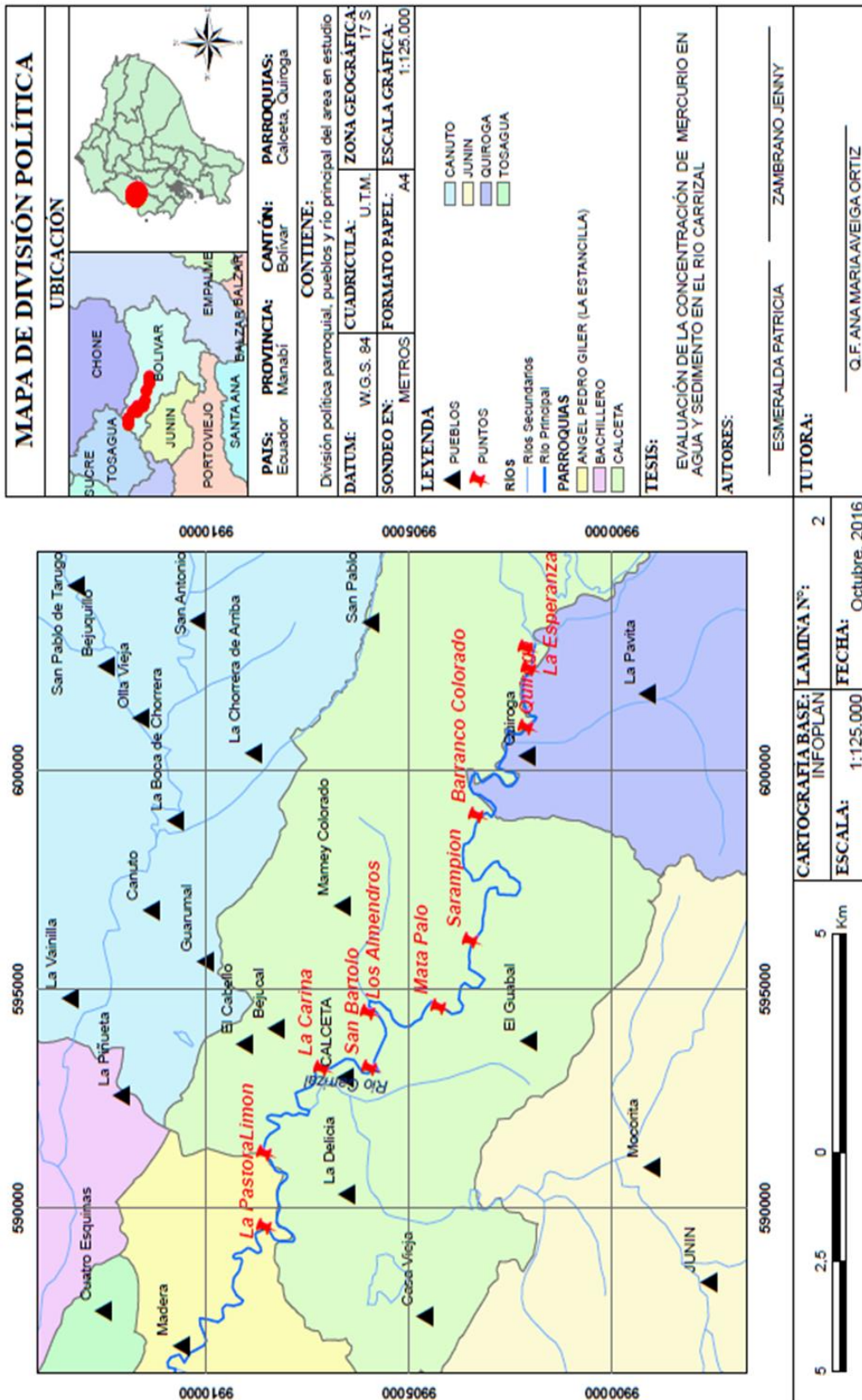
ANEXO 1

MAPAS TEMÁTICOS DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO CARRIZAL DEL CANTÓN BOLÍVAR

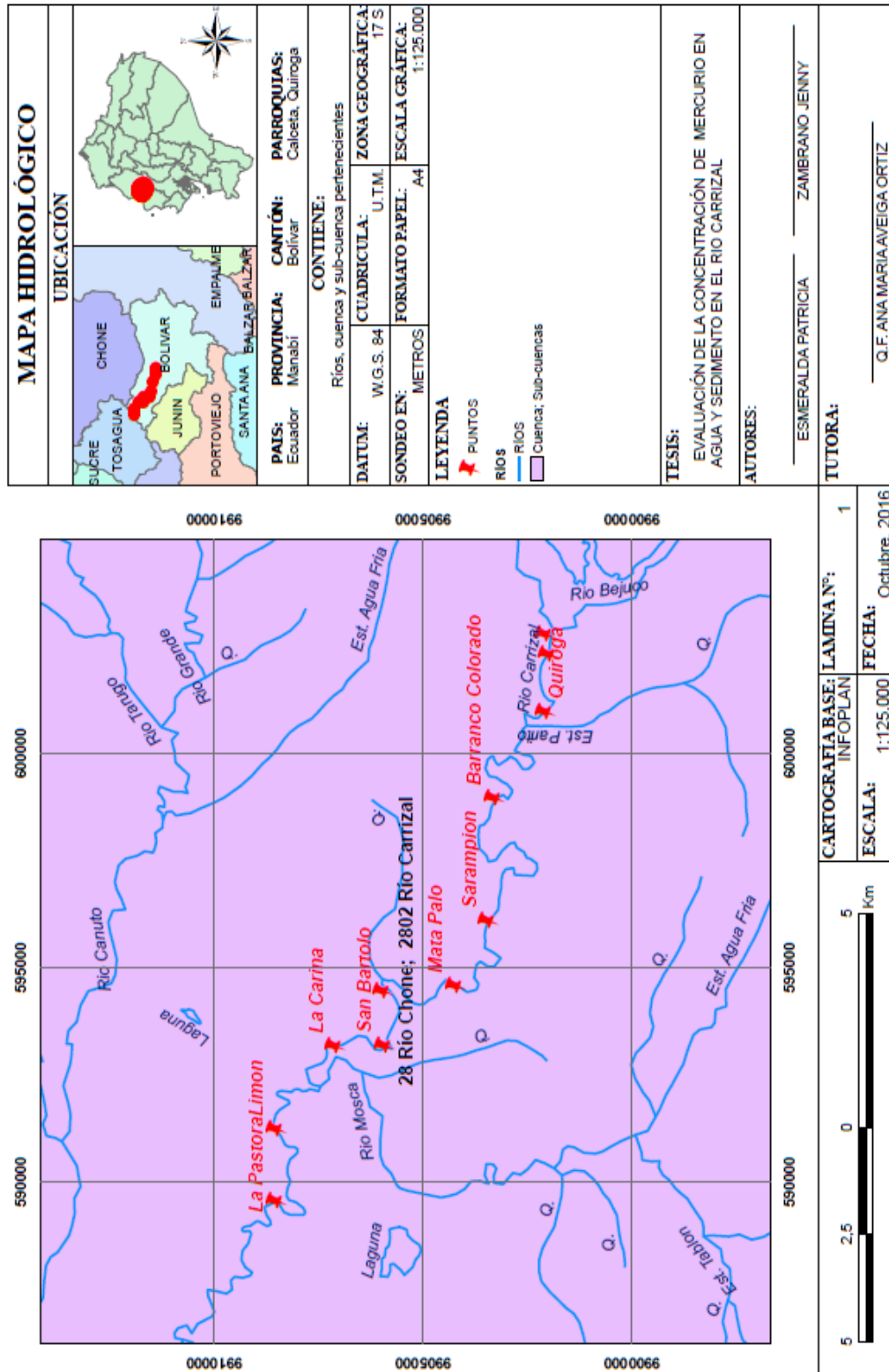
Anexo 1.1: Imagen satelital de la sub-cuenca del río Carrizal



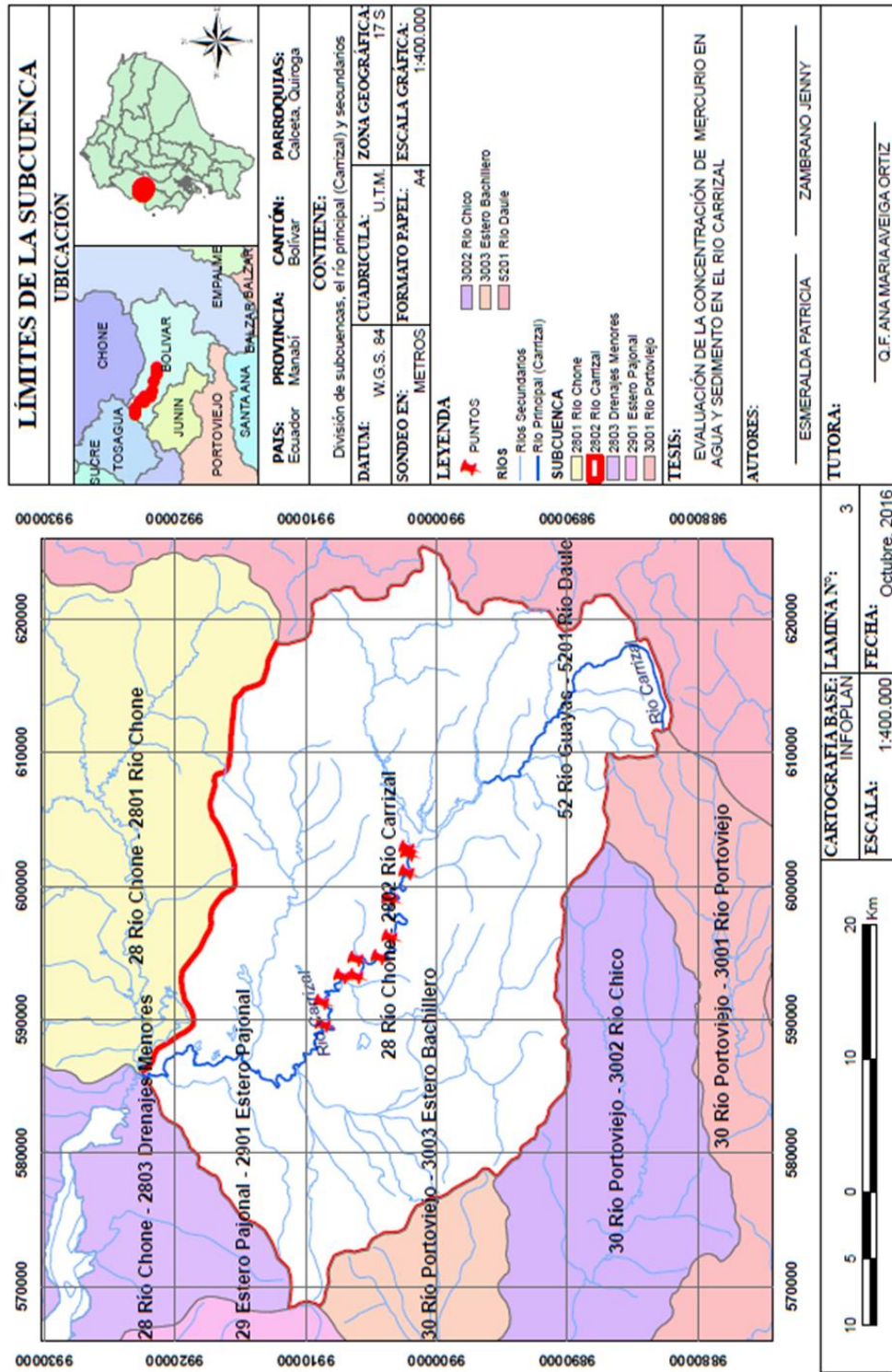
Anexo 1.2: División política de la sub-cuenca del río Carrizal



Anexo 1.3: Red hídrica de la sub-cuenca del río Carrizal




Anexo1.4: Límites de la sub-cuenca del río Carrizal



ANEXO 2 REPORTE DEL LABORATORIO

Anexo 2.1.: Análisis de agua superficial Mercurio

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

SOLICITANTE: Dr. Ana Aveiga Ortiz	TIPO DE MUESTRA: agua superficial (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
PROVINCIA: Manabí CANTÓN: Bolívar	LUGAR DE MUESTREO: Río Carrizal Bolívar - Manabí (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
	FECHA TOMA DE MUESTRA: 17-02-2017, 17-03-2017, 17-04-2017 (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
	FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 17-05-2017, 18-05-2017, 19-05-2017
MUESTRAS TOMADAS POR: Jenny Zambrano Patricia Esmeraldas	FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-05-2017
CORREO ELECTRÓNICO CLIENTE: ricardozamra@gmail.com	RECIBIDO POR: Ing. Alexandra Albán

PARÁMETRO	UNIDADES DE MEDIDA	CRITERIO DE CALIDAD	MÉTODO	RESULTADOS DE AGUA		
				MUESTRA T1 (ppm)	MUESTRA 2 T2 (ppm)	MUESTRA 3 T3 (ppm)
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	APHA AWWA WEF 3500-Hg-B	2,105	0,192	0,142
				0,156	0,206	0,108
				0,101	0,197	0,148
				0,073	0,246	0,136
				0,062	0,178	0,094
				0,398	0,181	0,125
				0,445	0,147	0,113
				0,385	0,180	0,134
				0,387	0,168	0,161

(ND*): Valores no detectables por el equipo (Espectrofotómetro de Absorción Atómica Marca: PerkinElmer – Modelo: Analyst 200), se encuentran por debajo del rango de lectura en mg/L.


- 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.
- Los criterios de calidad están en base a las Normas Tulsma, Anexo 1 del Libro VI, Tabla 2, Febrero 2016.


 Química Erika Marguettto, PhD(c)
 Jefe de Laboratorio


 Ing. Alexandra Albán
 Analista Laboratorio



Anexo 2.2.: Análisis de sedimento Mercurio

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

SOLICITANTE: Dr. Ana Aveiga Ortiz	TIPO DE MUESTRA: sedimentos (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE)
PROVINCIA: Manabí CANTÓN: Bolívar	LUGAR DE MUESTREO: Río Carrizal Bolívar - Manabí (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA TOMA DE MUESTRA: 17-02-2017, 17-03-2017, 17-04-2017 (INFORMACION DADA POR EL CLIENTE) FECHA DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS: 17-05-2017, 18-05-2017, 19-05-2017
MUESTRAS TOMADAS POR: Jenny Zambrano Patricia Esmeraldas	FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 30-05-2017
CORREO ELECTRÓNICO CLIENTE: ricardozamra@gmail.com	RECIBIDO POR: Ing. Alexandra Albán

PARÁMETRO	UNIDADES DE MEDIDA	MÉTODO	RESULTADOS DE SEDIMENTOS		
			MUESTRA T1 (ppm)	MUESTRA 2 T2 (ppm)	MUESTRA 3 T3 (ppm)
Mercurio (Hg)	mg/L	APHA AWWA WEF 3500-Hg-B	1,157	0,202	0,156
			0,375	0,246	0,205
			0,186	0,149	0,150
			0,197	0,172	0,156
			0,157	0,128	0,147
			0,140	0,109	0,150
			0,180	0,148	0,172
			0,150	0,080	0,129
			0,142	0,165	0,180

(ND*): Valores no detectables por el equipo (Espectrofotómetro de Absorción Atómica Marca: PerkinElmer – Modelo: Aanalyst 200), se encuentran por debajo del rango de lectura en mg/L.

- 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.




Ing. Alexandra Albán
Analista Laboratorio

ANEXO 3
TABLAS DE NORMAS VIGENTES

Anexo 3.1.: 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	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 nefelométrias de turbiedad	UNT	100,0

Anexo 3.2.: Criterios de calidad admisibles para la prevención de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios (Anexo 1: Tabla 2 del TULSMA)

PARÁMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN ⁻	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂ ⁻	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃ ⁻	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO5	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

Anexo 3.3.: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola (Anexo 1: Tabla 3 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 3.2.: Imagen Canadian Council of Ministers of the Environment

Sediment Quality Guidelines			Freshwater (ISQG)	Freshwater (PEL)
Variables	Symbol	Units	Value	Value
Arsenic	As	µg/kg	5900	17000
Cadmium	Cd	µg/kg	600	3500
Chlordane		µg/kg	4,5	8,87
Chromium	Cr	µg/kg	37300	90000
Copper	Cu	µg/kg	35700	197000
DDD	DDD	µg/kg	3,54	8,51
DDE	DDE	µg/kg	1,42	6,75
DDT	DDT	µg/kg	1,19	4,77
Dieldrin		µg/kg	2,85	6,67
Endrin		µg/kg	2,67	62,4
Heptachlor		µg/kg	0,6	2,74
Lead	Pb	µg/kg	35000	91300
Lindane		µg/kg	0,94	1,38
Mercury	Hg	µg/kg	170	486
Nonylphenol and its ethoxylates (TEQ)	NPE	µg/kg	1400	
PAHs - 2-Methylnaphthalene		µg/kg	20,2	201
PAHs - Acenaphthene		µg/kg	6,71	88,9
PAHs - Acenaphthylene		µg/kg	5,87	128
PAHs – Anthracene		µg/kg	46,9	245
PAHs - Benzo(a)anthracene		µg/kg	31,7	385
PAHs - Benzo(a)pyrene		µg/kg	31,9	782
PAHs – Chrysene		µg/kg	57,1	862
PAHs - Dibenz(a,h)anthracene		µg/kg	6,22	135
PAHs - Fluoranthene		µg/kg	111	2355
PAHs – Fluorene		µg/kg	21,2	144
PAHs – Naphthalene		µg/kg	34,6	391
PAHs - Phenanthrene		µg/kg	41,9	515
PAHs – Pyrene		µg/kg	53	875
Polychlorinated biphenyls (Aroclor 1254)	PCB1254	µg/kg	60	340
Polychlorinated biphenyls (total)	tPCB	µg/kg	34,1	277
Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (TEQ)	PCDD/F	µg/kg	0,00085	0,0215
Toxaphene		µg/kg	0,1	
Zinc	Zn	µg/kg	123000	315000

ANEXO 4
REGISTROS FOTOGRÁFICOS



E1: Lado Sur La Esperanza



E1: Lado Norte La Esperanza



E2: Lado Norte Quiroga



E2: Lado Sur Quiroga



E3: Lado Sur Barranco Colorado



E3: Lado Norte Barranco Colorado



E4: Lado Sur Sarampión



E4: Lado Norte Sarampión



E5: Lado Norte Matapalo



E5: Lado Sur Matapalo



E6: Lado Sur Los Almendros



E6: Lado Sur Los Almendros



E7: Lado Sur San Bartolo



E7: Lado Norte San Bartolo



E8: Lado Norte La Karina



E8: Lado Centro Sur La Karina



E8: Lado Norte El Limón



E8: Lado Centro Sur El Limón