

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo a  
la obtención del título de  
Ingeniera Ambiental*

**TRABAJO EXPERIMENTAL**

**“CUANTIFICACIÓN DE HG, AL Y PB EN LA MICROCUENCA DEL RIO  
IRQUIS, ÁREA HIDROGRÁFICA COLINDANTE A LA CONCESIÓN MINERA  
LOMA LARGA, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE TEJIDO EN LA ESPECIE  
*ONCORHYNCHUS MYKISS* (TRUCHA ARCO ÍRIS)”**

**AUTORA:**

ELIZABETH HERLINDA SAQUIPAY TEPAN

**TUTOR:**

DR. MANUEL ERNESTO DELGADO FERNANDEZ, PhD.

Cuenca - Ecuador

2019

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Elizabeth Herlinda Saquipay Tepán con documento de identificación N° 0105403711-1, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: **“CUANTIFICACIÓN DE HG, AL Y PB EN LA MICROCUENCA DEL RIO IRQUIS, ÁREA HIDROGRÁFICA COLINDANTE A LA CONCESIÓN MINERA LOMA LARGA, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE TEJIDO EN LA ESPECIE *ONCORHYNCHUS MYKISS* (TRUCHA ARCO ÍRIS)”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2019



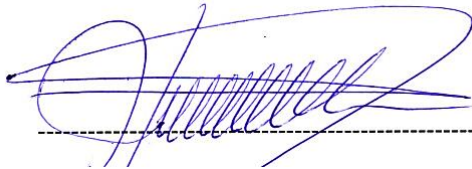
-----  
Elizabeth Herlinda Saquipay Tepán

C.I.: 010540371-1

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“CUANTIFICACIÓN DE HG, AL Y PB EN LA MICROCUENCA DEL RIO IRQUIS, ÁREA HIDROGRÁFICA COLINDANTE A LA CONCESIÓN MINERA LOMA LARGA, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE TEJIDO EN LA ESPECIE *ONCORHYNCHUS MYKISS* (TRUCHA ARCO ÍRIS)”**, realizado por Elizabeth Herlinda Saquipay Tepán, obteniendo el *Trabajo Experimental*, que cumple con todos los requisitos establecidos por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto del 2019



Dr. Manuel Ernesto Delgado Fernández, PhD.

C.I.: 010207378-0

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Elizabeth Herlinda Saquipay Tepán con documento de identificación N° 0105403711-1, autora del trabajo de titulación: **“CUANTIFICACIÓN DE HG, AL Y PB EN LA MICROCUENCA DEL RIO IRQUIS, ÁREA HIDROGRÁFICA COLINDANTE A LA CONCESIÓN MINERA LOMA LARGA, A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE TEJIDO EN LA ESPECIE *ONCORHYNCHUS MYKISS* (TRUCHA ARCO ÍRIS)”**, certifico que el total contenido del *Trabajo Experimental* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, agosto del 2019



-----  
Elizabeth Herlinda Saquipay Tepán

C.I.: 010540371-1

## **DEDICATORIA**

### **A mi mamá Marujita**

*Por su apoyo incondicional, por su atención y motivación diaria que me ha permitido alcanzar mis objetivos planteados, gracias por ser mi pilar, por ser mi todo. Esto no es suficiente para poder corresponder a tus sacrificios. TE AMO*

### **A mi papá Miguel**

*Por su paciencia y compañía para salir adelante, gracias por tu infinita bondad y amor. Eres el mejor papa del mundo, cada paso de mi carrera creciste conmigo. TE AMO*

### **A mis hermanos, Christian, Mauricio y Fernando**

*Por compartir conmigo y ser el centro de mi superación. Anhele desde el fondo de mi corazón verlos triunfar en la vida, sean mejor que yo.*

### **A mi Tía Ceci y mi Mamá Rosa**

*Por ser padre y madre durante mis años de infancia y adolescencia, hicieron lo mejor, nunca me falten, ustedes encaminaron mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*“Desarrolla una actitud de gratitud y da las gracias por todo lo que te sucede, sabiendo que cada paso adelante es un paso hacia el logro de algo más grande y mejor que tu situación actual”.* (Brian Tracy)

Quiero expresar desde lo más profundo de mi ser un sentimiento de gratitud inconmensurable al ser supremo de la vida, quien me ha colmado de gracia y bendiciones en cada paso de mi existir, papito Dios muchas gracias.

De la misma forma y con el mismo sentimiento quiero corresponder a través de estas líneas mi gratitud a todas las personas que con su soporte científico y humano han colaborado en la realización de este trabajo de titulación.

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana y al Proyecto minero Loma Larga por el apoyo brindado, por el respeto a mis sugerencias, la dirección y el rigor que han facilitado a las mismas. Gracias por la ayuda y la confianza en mí depositada.

Agradezco al Ing. Vicente Jaramillo por la amabilidad y atención prestada en el transcurso del estudio, a la vez quiero agradecer al personal que labora en el proyecto por su participación activa en el trabajo en campo con mi persona, teniendo un especial agradecimiento con el Sr. Carlos Guamán, Sr. Walter Márquez, Sr. Néstor Pillacela y Sr. Julio Loja y familia.

A mis estimados doctores, Dra. Inés Malo y Dr. Pablo Arévalo por su entrega y buena voluntad en la planificación y asesoramiento en el análisis químico analítico, a la Dra. Elena Ortiz de Espectrocrom Cía. Ltda. por su apoyo desinteresado en la lectura de muestras empleando (ICP/OES), al Dr. Julio Torres de la Universidad Técnica de Manabí por su asesoría y sugerencias, al Dr. Ernesto Delgado por la dirección en la ejecución del presente trabajo de fin de carrera.

A mis tíos Galo Zhagüi y Libia Tepán, a mis primos, a mi hermano Luis y mi cuñada Rosa, a mis hermanas Carmelina, Rosa y mis sobrinas Nube y Anita desde lo más profundo de mi ser muchas gracias por estar pendientes, protegiéndome y ayudándome en lo que he necesitado a lo largo de mi vida universitaria.

A mis amigos y amigas, Anitas, Kari, Fer, Geova, Jorge, Nathy, Gaby, Jess, Mariela, Kathy, John, Thalía, Roxi, Tere, Diana muchas gracias por su apoyo y acompañamiento en el transcurso de mi carrera y culminación de este trabajo, los quiero mucho, nunca cambien.

Si de alguien me olvido en este apartado desde el fondo de mi corazón solo me queda decirles **DIOS LE PAGUE**

## INDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	2
CERTIFICACIÓN .....	3
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14
1. Introducción .....	15
1.1. Problema .....	15
1.2. Área de estudio .....	17
1.2.1. Ubicación Político Territorial .....	17
1.2.2. Ubicación Geográfica .....	18
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos .....	18
1.4. Fundamentación teórica.....	19
1.4.1. Generalidades.....	19
1.4.2. Metales pesados .....	20
1.4.3. Fuentes de Metales pesados .....	21
1.4.4. Emisión directa de metales pesados.....	23
1.4.4.1. Transporte atmosférico .....	24
1.4.4.2. Emisión al agua.....	24
1.4.4.3. Emisión al suelo.....	25
1.4.5. Movilización directa de metales en la naturaleza .....	26
1.4.5.1. Lluvia acida.....	27
1.4.5.2. Eutrofización.....	27
1.4.5.3. Oxidación de la pirita.....	28
1.4.6. Transporte biogeoquímico de metales .....	29
1.4.7. Toxicocinética de los metales .....	32
1.4.7.1. Absorción.....	32
1.4.7.2. Distribución, almacenamiento y secuestro .....	34
1.4.7.3. Biotransformación.....	35
1.4.7.4. Excreción .....	35
1.4.7.5. Bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación.....	36
1.4.8. Efectos biológicos y toxicológicos de los metales.....	38
1.4.8.1. Aluminio .....	38
1.4.8.2. Mercurio.....	38
1.4.8.3. Plomo .....	39
1.4.9. Bioindicadores ambientales .....	39
1.4.9.1. Trucha arco iris, <i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1972).....	41
1.4.9.2. Estudios preliminares empleando <i>Oncorhynchus mykiss</i> .....	43
1.4.10. Normativa ambiental.....	46

2.	Materiales y métodos .....	47
2.1.	Ubicación del lugar de muestreo.....	47
2.2.	Recolección de muestras .....	49
2.3.	Medición de parámetros morfológicos .....	50
2.4.	Manejo y conservación de la muestra.....	52
2.5.	Análisis en laboratorio .....	54
2.5.1.	Identificación de edades.....	54
2.5.2.	Análisis del tejido .....	56
2.5.3.	Preparación de muestras .....	56
2.5.4.	Predigestión.....	56
2.5.5.	Digestión .....	57
2.6.	Lectura de muestras .....	58
2.6.1.	Curvas de calibración.....	59
2.6.2.	Aseguramiento y control de calidad .....	61
2.7.	Análisis estadístico.....	62
2.8.	Índice de contaminación .....	63
3.	Resultados y discusión.....	64
3.1.	Parámetros morfológicos básicos .....	64
3.2.	Resultados de laboratorio, lectura de tejido muscular de trucha arcoíris empleando Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP/MS).....	65
3.3.	Resultados de laboratorio, lectura de tejido muscular de trucha arcoíris empleando Espectrometría de emisión atómica acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES) .....	66
3.4.	Coeficiente de correlación de Pearson .....	69
3.5.	Índice de contaminación (MPI) .....	71
3.6.	Comparación Hg, Pb y Al en trucha y límites máximos de permisibilidad.....	73
3.7.	DISCUSION .....	74
4.	Conclusiones y Recomendaciones .....	78
	Recomendaciones .....	79
5.	Glosario de términos .....	80
6.	Abreviaturas utilizadas.....	81
7.	Referencias bibliográficas.....	82
8.	Anexos .....	99

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	<i>Metales constituyentes de rocas comunes y minerales del suelo.....</i>	22
<b>Tabla 2.</b>	<i>Concentración de metales pesados en Corea del Sur.....</i>	44
<b>Tabla 3.</b>	<i>Concentración de metales pesados en tejidos, agua y alimentación.....</i>	44
<b>Tabla 4.</b>	<i>Concentración de metales por individuo .....</i>	45



<b>Tabla 5.</b> <i>Limites máximo de permisibilidad de metales pesados en tejido muestral de peces.....</i>	46
<b>Tabla 6.</b> <i>Puntos de muestreo del estudio en la microcuenca del Irquis.....</i>	48
<b>Tabla 7.</b> <i>Registro morfológico .....</i>	50
<b>Tabla 8.</b> <i>Registro de Edad.....</i>	55
<b>Tabla 9.</b> <i>Curva de calibración de patrones.....</i>	59
<b>Tabla 10.</b> <i>Controles de Calidad para Al, Hg y Pb.....</i>	61
<b>Tabla 11.</b> <i>Rangos de correlación entre variables .....</i>	62
<b>Tabla 12.</b> <i>Medidas de dispersión, estadística descriptiva. ....</i>	64
<b>Tabla 13.</b> <i>Resultados de laboratorio certificado empleando (ICP/MS). ....</i>	65
<b>Tabla 14.</b> <i>Resultados de laboratorio en la UPS, empleando (ICP/OES). ....</i>	66
<b>Tabla 15.</b> <i>Resultados finales. ....</i>	67
<b>Tabla 16.</b> <i>Media y desviación estándar de Hg, Pb y Al en la microcuenca del Irquis. ....</i>	68
<b>Tabla 17.</b> <i>Resultados de correlación entre tamaño, peso, edad con las concentraciones de Hg. .....</i>	69
<b>Tabla 18.</b> <i>Indice de contaminación metálica en tejido de trucha arcoíris del rio Irquis .....</i>	72

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Ubicación de la microcuenca del Rio irquis para el caso de estudio, el proyecto Loma Larga se asienta en la parte alta del área hidrográfica siendo Victoria del Portete, Girón, Baños, San Gerardo y Chumblín áreas estratégicas directas. Fuente: (Cox et al., 2016). Elaborado por: Autora.....</i>	17
<b>Figura 2.</b> <i>Fuentes naturales y antrópicas de metales pesados en la naturaleza.....</i>	23

<b>Figura 3.</b> Emisión directa e indirecta de elementos metálicos en el agua, aire y suelo. ....	23
<b>Figura 4.</b> Lluvia acida y su reacción química en el suelo, movilización directa de metales pesados. .....	26
<b>Figura 5.</b> Transporte horizontal, vertical y deposición de contaminantes metálicos en la atmosfera. <b>Fuente:</b> (Ohara, 2019). ....	29
<b>Figura 6.</b> Diagrama general del transporte de metales traza en el medio ambiente, mineralización del metal en el suelo y biomasa viva. ....	30
<b>Figura 7.</b> Bosquejo del transporte Biogeoquímico de metales pesados en zonas costeras (FBI: agua superficial, Md: compartimientos metálicos en disolución, Mp: partícula suspendidas, Ms: sedimentos, Mi: agua intersticial, Mb: Partículas biogénicas). <b>Fuente:</b> (Millward et al., 2019). .....	31
<b>Figura 8.</b> Absorción metálica en el organismo acuático. ....	32
<b>Figura 9.</b> Captación, movimiento e interacción intracelular en el procesamiento intestinal y absorción de los metales. <b>Fuente:</b> (Cousins et al., 2018). ....	33
<b>Figura 10.</b> Vías de excreción de metales en peces, 1) Branquias 2) Orina 3) Bilis. ....	36
<b>Figura 11.</b> Bioacumulación y biomagnificación de contaminantes en la cadena trófica alimenticia. .....	37
<b>Figura 12.</b> Individuo de Trucha Arcoíris ( <i>Oncorhynchus Mykiss</i> ). ....	41
<b>Figura 13.</b> Pesca de ejemplares empleando atarraya, (a) y (b) captura de ejemplares en la zona alta, (c) y (d) captura de ejemplares en la zona baja de la microcuenca. ....	49
<b>Figura 14.</b> Medición de parámetros morfológicos de los ejemplares. (a) y (b) dimensión de ejemplares (c) y (d) toma de pesos sin eviscerar. ....	50

<b>Figura 15.</b> Eviscerado de ejemplares. ....	52
<b>Figura 16.</b> Etiquetado, (a) y (b) preparados los ejemplares se etiqueta por el número del sitio y número muestra capturada. ....	53
<b>Figura 17.</b> Traslado de muestras. ....	53
<b>Figura 18.</b> Escamas de <i>O. Mykiss</i> , anillos de crecimiento visto al microscopio. ....	54
<b>Figura 19.</b> Preparación de las muestras de músculo. ....	56
<b>Figura 20.</b> Predigestión de muestras y blancos en tubos de teflón correspondientes al digestor de microondas. ....	57
<b>Figura 21.</b> Proceso de digestión en la primera imagen, en la otra imagen las muestras digestadas son filtradas y aforadas en balones de aforo de 50 y 100 ml. ....	57
<b>Figura 22.</b> Corrida de muestras en Espectrómetro Emisión Óptica Acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES). ....	58
<b>Figura 23.</b> Curva de calibración para mercurio y plomo. ....	60
<b>Figura 24.</b> Curva de calibración para Aluminio. <b>Fuente:</b> Autora. ....	60
<b>Figura 25.</b> Promedio de concentraciones elementos metálicos Hg, Pb y Al en la microcuenca del Irquis. ....	68
<b>Figura 26.</b> Correlación Hg-tamaño de trucha, la dispersión de datos es fuertemente negativa, muy cercana a la inexistencia de correlación. ....	70
<b>Figura 27.</b> Correlación Hg-peso de trucha, la dispersión de datos es fuertemente negativa. ....	70
<b>Figura 28.</b> Correlación Hg-edad de trucha, dispersión negativa fuerte de las dos variables relacionadas. <b>Fuente:</b> Autora. ....	71
<b>Figura 29.</b> Índice de contenido metálico para el tejido muscular de la trucha arcoíris. ....	72

**Figura 30.** Las concentraciones de mercurio en los primeros puntos de muestreo 2 y 3 se registran por encima del límite máximo permisible de 0.5 ppm establecido por la FAO, OMS, EPA y UE. En la muestra 8, punto 3 muestra 3 la concentración supera el límite máximo permisible dado por la AIEA muy cercano al 0.5, las muestras restantes se registran por debajo de los máximos permisibles internacionales, aquellos datos no detectados se consideran en 0. **Elaborado por:** Autora. .... 73

**Figura 31.** Las concentraciones de plomo de 24 muestras no son detectables, el equipo empleado no logra detectar por debajo de los 0.1 y 0.001 ppm, de los resultados restantes el mínimo a reportarse es de 0.022 ppm con un máximo de 0.46 ppm, el plomo no sobrepasa el máximo permisible dado por la FAO, a salida de la concesión dos datos que se registran están por encima del máximo permisible dado por la OMS y la AIEA. **Elaborado por:** Autora..... 73

**Figura 32.** Concentraciones de Al en muestras de trucha del río Irquis se presenta un mínimo de 0,38 ppm y un máximo de 2,32 ppm, suscitándose las concentraciones más altas en la parte baja de la microcuenca, el reporte de aluminio se ha comparado con un solo máximo permisible dado por la Agencia internacional de energía atómica, si se tomase los mismos límites de permisibilidad de plomo y mercurio las concentraciones de aluminio podrían catalogarse como alarmantes para la salud. **Elaborado por:** Autora..... 74

## RESUMEN

En este estudio, se hizo la valoración de las concentraciones de Al, Hg y Pb presentes en el tejido muscular de 33 ejemplares de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), en el río principal de la microcuenca del Irquis, las capturas de los ejemplares se efectuaron entre los meses de Abril y Mayo, de los dos muestreos realizados, en el primero se recolectaron 12 muestras considerándose muestras de referencia, las 21 muestras restantes capturadas en el segundo muestreo se tomaron como muestras de cotejo; en laboratorio para lectura de los metales en estudio se empleó Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS) y Espectrometría de Emisión Óptica Acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES), para el proceso de preparación de muestra se trató a lo máximo reducir posibles errores en campo, laboratorio y materiales, errores que puedan interferir en la concentración final de los elementos de interés. Los resultados de los tres elementos en análisis reportan para el caso de estudio datos de Hg y Pb no detectables por los dos equipos, de los tres elementos el mercurio permite efectuar una correlación de Pearson donde la correlación resulta ser negativa media. A pesar de los resultados, los niveles de los dos metales estudiados no superan el límite máximo permisible para cada elemento a excepción del mercurio el cual presenta valores que están por encima del límite de 0.5 ppm cercano a la zona mineralizada del proyecto Loma Larga, el orden de distribución de los metales en estudio es Al> Hg>Pb.

**Palabras Clave:** Metales pesados, trucha arco iris, Hg, Al, Pb, Irquis

## ABSTRACT

In this study, the measurements of the Al, Hg and Pb measurements present in the muscle tissue of 33 specimens of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), in the main river of the Irquis micro basin, were made. examined between the months of April and May, of the two samples taken, in the first 12 samples were collected considering reference samples, the remaining 21 samples captured in the second sample will be taken as collation samples; In the laboratory for reading the metals under study, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP / MS) and Inductively Coupled Optical Emission Spectrometry (ICP / OES) were used, for the sample preparation process the maximum treatment was reduce possible errors in the field, laboratory and materials, errors that can interfere with the final concentration of the elements of interest. The results of the three elements under analysis report in the case of study of Hg and Pb data not detectable by the two teams, of the three elements, mercury allows Pearson's correction where the correlation turns out to be negative. Despite the results, the levels of the two metals studied do not exceed the maximum permissible limit for each element except for mercury which has values that are above the 0.5 ppm limit close to the mineralized area of the Loma Larga project, the order of distribution of the metals under study is Al> Hg> Pb.

**Keywords:** Heavy metals, rainbow trout, Hg, Au, Pb, Irquis

## **1. Introducción**

### **1.1. Problema**

En la historia de la humanidad los metales han sido aprovechados como minerales de gran valor, en Ecuador desde la época precolombina la extracción de metales ha tenido un fuerte desarrollo siendo en la actualidad una actividad manejada en dos ámbitos: minería metálica de tipo artesanal y a pequeña escala y minería no metálica o áridos (Acosta & Sacher, 2012; Oviedo, Moina, Naranjo, & Barcos, 2017). Según la Empresa nacional minera (ENAMI EP) el territorio ecuatoriano presenta grandes reservas de oro, plata y cobre con un potencial minero de interés para el desarrollo económico del país (ENAMI EP, 2016) poniéndose en promoción 5 proyectos mineros de carácter estratégico en el territorio ecuatoriano; estos proyectos son Loma Larga y Rio Blanco en Azuay, Panantza-San Carlos en Morona Santiago, Mirador y Fruta del Norte en Zamora Chinchipe (Banco Central del Ecuador, 2019).

El proyecto minero Loma Larga en Azuay, se ubica colindante a la microcuenca del Rio irquis, actualmente se encuentra concesionado a la empresa minera INV Minerales S.A. con una superficie aproximada de 8000 Ha, cercano al área de Reserva Natural Quimsacocha se sabe que el proyecto se halla en fase de exploración avanzada por lo que no se le puede atribuir ningún tipo de alteración en territorio por extracción de metales pesados, sin embargo cabe tomar en consideración que en cumplimiento al plan de manejo ambiental y la importancia de la microcuenca como área de aporte hídrico desde el año 2003 hasta la fecha se ha monitoreado trimestralmente las aguas de los afluentes hídricos cercanos al proyecto priorizando el sistema de

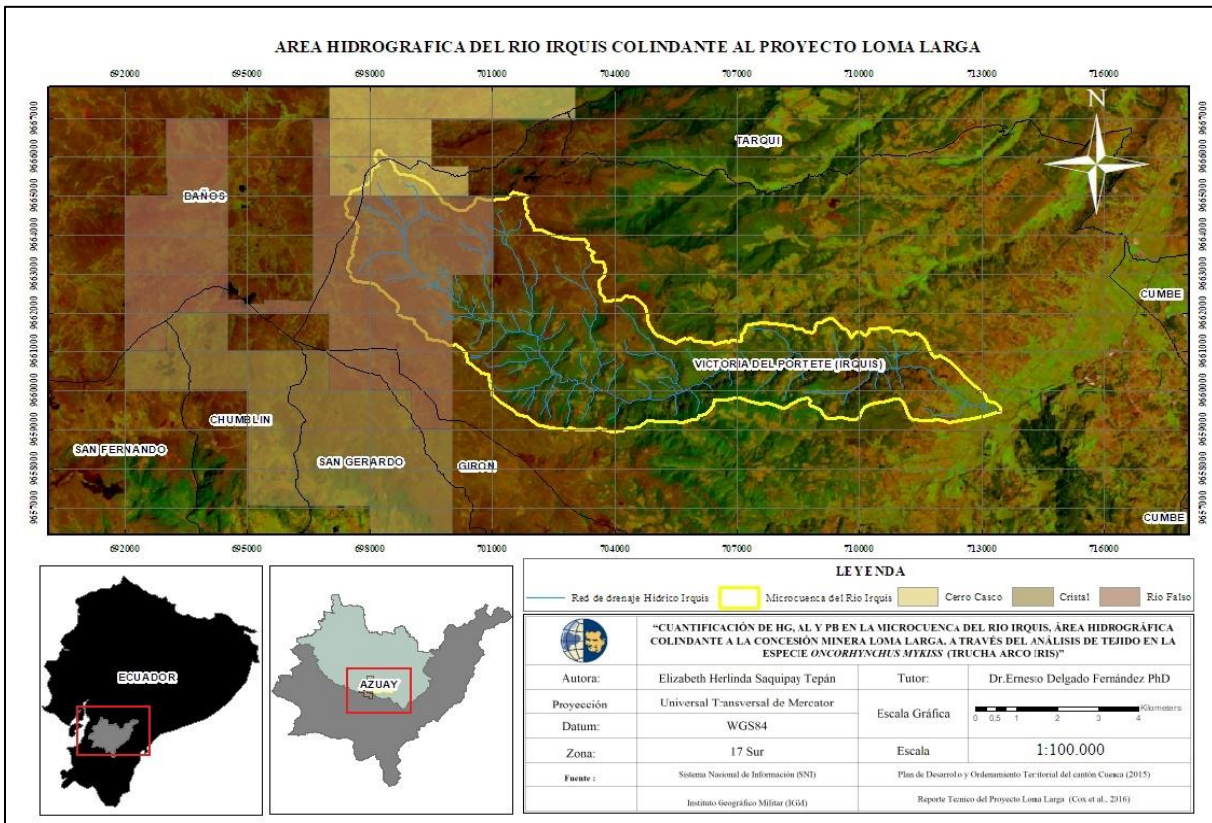
drenaje natural más cercano, el monitoreo efectuado valora parámetros físico-químicos, microbiológicos y de metales totales dentro y fuera de la concesión (Jaramillo, 2013).

Del análisis trimestral de agua en la microcuenca del Irquis se reporta 18 metales pesados, de los cuales las concentraciones de aluminio, plomo y mercurio son de interés debido a su toxicidad y peligrosidad, en los reportes el Al y Pb se distribuyen por encima de los límites de permisibilidad nacional por otro lado el Hg es inferior a esos mismo límites (reporte de agua en **Anexo 1**), por lo que cabe cuestionar el hallazgo de dichos elementos considerando el estudio de dispersión geoquímica de Pb en sedimentos fluviales llevado a cabo por Peralta (2018) en el área del Irquis; el estudio concluye reportando entre 6 y 22 ppm de Pb a lo largo del río principal, la veracidad del mismo se contrasta descartándose en su totalidad cualquier actividad antrópica que incremente las concentraciones en el curso hídrico, por lo que se asume la presencia de dicho metal en el agua y sedimentos debido a la meteorización y erosión de rocas en la microcuenca.

Por los planteamientos hechos se deduce en base a los reportes de agua y estudios de investigación en la zona de interés que la existencia de metales pesados en las aguas del río Irquis son de origen puramente natural, debido a la desintegración física y descomposición química de rocas los elementos se movilizan desde los depósitos minerales concentrándose en los cursos de agua más cercanos; ya en el agua estos elementos se unen a la composición de sedimentos en las profundidades de ríos y lagos de modo que pone en tela de duda su ingreso a la cadena trófica acuática (King et al., 1999). Así pues, el presente estudio tuvo como propósito identificar y cuantificar si el Al, Pb y Hg están siendo asimilados y bioacumulados en el tejido muscular de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*, especie que habita en abundancia en la microcuenca del Irquis.



## 1.2. Área de estudio



**Figura 1.** Ubicación de la microcuenca del Río Irquis para el caso de estudio, el proyecto Loma Larga se asienta en la parte alta del área hidrográfica siendo Victoria del Portete, Girón, Baños, San Gerardo y Chumblín áreas estratégicas directas. **Fuente:** (Cox et al., 2016). Elaborado por: Autora.

### 1.2.1. Ubicación Político Territorial

La microcuenca del río Irquis se ubica colindante al proyecto minero Loma Larga, el cual está conformado por tres áreas mineras concesionadas en: cerro casco, río falso y cristal, localizado al sur del Ecuador en la provincia del Azuay al sureste del cantón Cuenca, con un área de influencia directa que comprende tres cantones (Cuenca, Girón y San Fernando) y seis parroquias (Baños, Victoria del Portete, Girón, San Gerardo, Chumblín y San Fernando), (**Figura 1**).

## **1.2.2. Ubicación Geográfica**

El área del Irquis se halla en la parte centro occidental de la parroquia Victoria del Portete, tiene una superficie de 44,96 km<sup>2</sup>, la cota va desde los 2643 m.s.n.m hasta los 3869 m.s.n.m en las siguientes coordenadas: parte alta (698396 -9665964) parte baja (713544-9659449). Junto a los ríos Portete, San Agustín, Cumbe y Shucay conforman la Subcuenca del Río Tarqui cuyas aguas drenan en la ciudad de Cuenca siendo este uno de los cuatro ríos más importantes del cantón (Jaramillo, 2013).

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Cuantificar la presencia de Hg, Al y Pb en la Microcuenca del Río Irquis, área hidrográfica colindante a la concesión minera Loma Larga, a través del análisis de tejido en la especie *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arco iris)

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- I. Establecer y ubicar el lugar de muestreo y captura de Trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) en el cauce del Río Irquis.
- II. Manipular y preparar el tejido muestral para su respectivo análisis en laboratorio a través de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS).
- III. Inferir en los resultados de las concentraciones metálicas de Hg, Al, y Pb con referencia a (EPA, 2002; FAO, 1983; OMS, 1995; UE, 2017; Wyse, Azerpard, & Mora, 2003) y analizar la

relación de concentración de los metales con la longitud y peso del cuerpo de los individuos capturados.

- IV. Estimar con los resultados de concentración de los metales el Índice de contaminación del metal citado por (Masoud, El-Samra, & El-Sadawy, 2007).

## **1.4. Fundamentación teórica**

### **1.4.1. Generalidades**

En la naturaleza los metales pesados como resultado de un proceso natural o antrópico se asocian a sedimentos superficiales del suelo en forma de partículas metálicas que suelen ser transportadas hacia proximidades edáficas, riveras y lechos fluviales (Amat, Pierra, Casals, & Vázquez, 2002; Martínes, 2012; Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, & Borbón, 2013;González, Herrera, Monks, & Pulido, 2015), la composición geoquímica de los suelos y la localización de zonas mineralizadas cercanas al sistema de drenaje natural en una unidad geográfica que incrementa la probabilidad de bioacumular metales pesados desde el primer eslabón de la cadena alimenticia, siendo así posible presentar alteraciones en la dinámica de los ecosistemas (Saha, Mollah, Alam, & Safiur Rahman, 2016) resultando alarmante para la protección y conservación de vida acuática (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015).

A partir de los planteamientos hechos se considera de forma prioritaria evaluar la integridad biológica y ecológica de los ecosistemas acuáticos a fin de precautelar la vida, esta evaluación ha sido considerada en programas de monitoreo de agua a nivel mundial donde se suele valorar condiciones físico-químicas y biológicas de los sistemas acuáticos (Gallardo, Arroyo, Moncayo, & Rivera, 2015).En el monitoreo biológico la capacidad de ciertas especies para tolerar

contaminantes que se hallan en su hábitat permite valorar el estado de recurso hídrico y permite catalogar a estos individuos como indicadores ambientales (Rees, 2018).

#### **1.4.2. Metales pesados**

El significado del término "metal" deriva del griego *metallon* cuyo significado es "mío" (Poplavko, 2019), un metal presenta características físicas y químicas distinguibles de los no metales con capacidad para conducir calor y una resistencia eléctrica que en si es proporcional a la temperatura, maleabilidad, ductilidad e incluso brillo (Appenroth, 2010), además de suscitar un peso atómico superior a 40.04 y densidad atómica superior a 4 g/cm<sup>3</sup> (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016; Bat & Arici, 2018). Sin embargo, los metales al ser transformados pierden todas estas propiedades convirtiéndose en elementos químicos que fácilmente pueden ingresar a la naturaleza y el hombre.

Los metales son persistentes en el ambiente, de difícil degradación y toxicidad elevada (Cui, Zhang et al., 2011; Gwaltney-Brant, 2013; Roychowdhury, Datta, & Sarkar, 2018), según la *United States environmental protection agency* (EPA) los metales pesados en el programa de inventario de emisiones tóxicas se han catalogado como contaminantes prioritarios, clasificándose como químicos persistentes, bioacumulables y tóxicos (PBT) (Brusseau, Famisan, & Artiola, 2004), siendo de riesgo para la salud, seguridad alimentaria y sobrevivencia de las especies animales y vegetales (Reyes et al., 2016 ; Heredia, 2017). En concentraciones adecuadas los metales son importantes para el crecimiento normal de la plantas, animales y el hombre; como micronutrientes por ejemplo (Fe, Cu, Zn, Mn y Mo), nutrientes animales (As, Co, Cr, Ni, Se, Sn y V) y oligoelementos en el cuerpo humano (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Co, Cr, Ni, Se y Sn) (Adriano et al., 2005).

Podríamos decir entonces que los metales se los puede considerar como esenciales y no esenciales; el Sn, Al, Cd , Hg y Pb no tienen ninguna función biológica por lo cual pueden ser llamados también como xenobióticos, muy por el contrario los metales esenciales como el Cu, Fe, Zn tienen un papel biológico funcional, por lo que si se presentan deficiencias de estos elementos se compromete la buena salud humana, a la vez si su comportamiento es inverso aumentando sus concentraciones y produciendo efectos tóxicos más o menos que los que causan los metales no esenciales (Kennedy, 2011).

### **1.4.3. Fuentes de Metales pesados**

Los metales por un lado están presentes en el planeta desde su origen, constituyen la corteza terrestre y con el paso del tiempo en la naturaleza no son más que el resultado de la meteorización de rocas una vez erosionado el suelo los metales se consideran como contaminantes particulados que por distintos factores ambientales se desplazan y transportan a la naturaleza condicionándose a la susceptibilidad que presentan los pisos edáficos en el proceso erosivo ( Vigneri et al., 2017; Artiola et al., 2019).

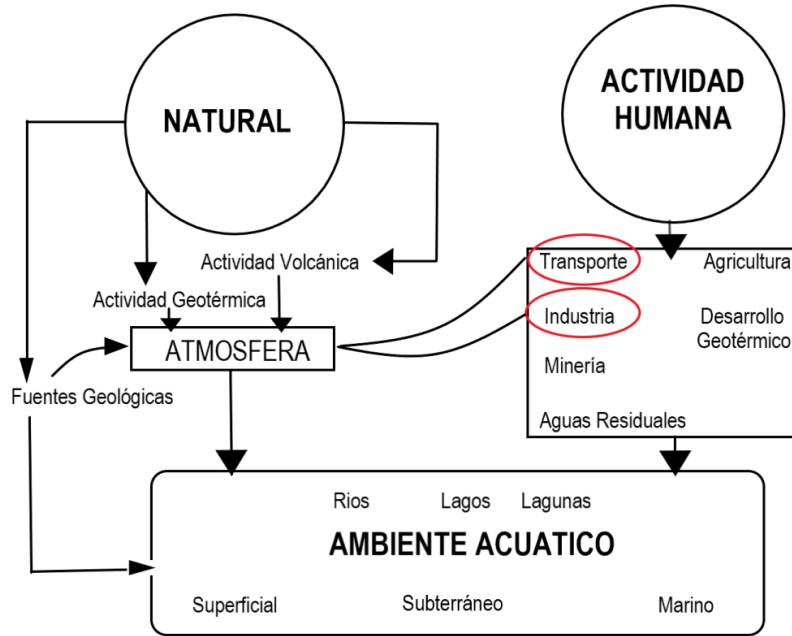
Geológicamente hablando los metales se diversifican en las rocas ígneas, metamórficas ultrabásicas, básicas volcánicas, granitos, esquistos y cristales pudiendo constituirse por Mn, Co, Zn, Ni y Cu entre otros (Hughes, 1985; Potters, 2013), (**Tabla 1**). Por otro lado las actividades humanas la combustión interna de motores, la industria, minería, aguas residuales, agricultura convencional entre otros aportan a la concentración, abundancia, movilización directa y emisión de metales en el medio acuático (**Figura 2**), según Walker et al (2019) a nivel mundial los metales pesados nocivos en el agua se han incrementado debido a la urbanización e industrialización, se

considera la existencia de 50 metales pesados que pueden ser tóxicos para el hombre de los cuales 17 se pueden valorar como muy tóxicos (Roychowdhury et al., 2018).

**Tabla 1.** Metales constituyentes de rocas comunes y minerales del suelo

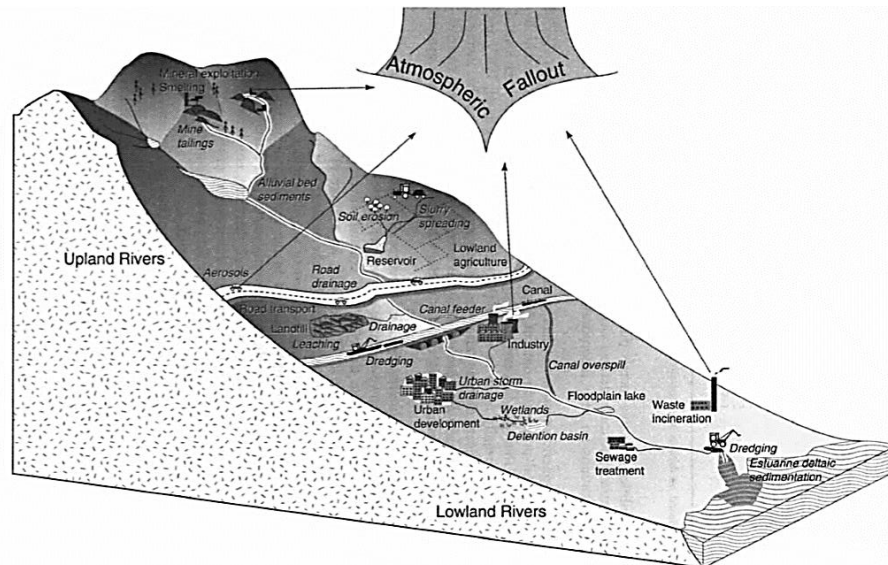
Alteración	Mineral	Ocurre en	Metales constituyentes
<b>Fácil de alterar</b>	Olivina	Rocas ígneas	Mn, Co, Ni , Cu, Zn
	Anortita	Rocas metamórficas	Mn, Cu, Sr
	Augita	Ultrabásicas y rocas básicas volcánicas	Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb
	Honblenda	Por lo general , en rocas ígneas y metamórficas	Mn, Co, Ni, Cu, Zn
	Albita	Rocas ígneas intermedias	Cu
	Biotita	Rocas ígneas y metamórficas	Mn, Co, Ni, Cu, Zn
	Ortoclasa	Rocas ígneas ácidas	Cu, Sr
	Moscovita	Granitos , esquistos y cristales.	Cu, Sr
	<b>Difícil de Alterar</b>	Magnetita	Rocas ígneas y metamórficas

**Fuente:** (García, Moreno, Teresa, & Polo, 2002).



**Figura 2.** Fuentes naturales y antrópicas de metales pesados en la naturaleza.  
**Fuente:** (Foster & Charlesworth, 1996).

#### 1.4.4. Emisión directa de metales pesados



**Figura 3.** Emisión directa e indirecta de elementos metálicos en el agua, aire y suelo.  
**Fuente:** (Foster & Charlesworth, 1996).

#### **1.4.4.1. Transporte atmosférico**

La combustión de carbón, petróleo, gas natural y gas licuado, la urbanización y el tránsito vehicular emiten a la atmósfera elementos metálicos cuyas concentraciones pueden ser altamente tóxicas y peligrosas para los receptores (Bjerregaard, Andersen, & Andersen, 2015; Singh & Singh, 2017) (**Figura 3**), de esta manera los metales al transportarse por la atmósfera pueden terminar en cuerpos de agua importantes para el consumo humano; el mercurio por deposición ingresa directamente a océanos, lagos y ríos, si se halla en su forma inorgánica este no resulta ser peligroso, por el contrario en el agua este elemento es transformado a una clase orgánica capaz de ser altamente tóxico y bioacumulable (Takaoka et al., 2018).

Por otro lado Liu et al (2018) en su estudio de la contaminación atmosférica y su contribución a la contaminación del agua en la Costa Dorada de Australia confirma el vínculo directo entre la fase atmosférica y la fase terrestre, reporta la acumulación de metales en la atmósfera en altas concentraciones de lunes a viernes, deposición seca en días secos y húmeda en días lluviosos, además el tráfico de vehículos pesados resulta ser la fuente más importante de metales en la atmósfera y por último el área industrial y comercial son las mayores fuentes puntuales de aporte metálico.

#### **1.4.4.2. Emisión al agua**

En el agua los metales es común encontrarlos en diversas concentraciones, como resultado final de la actividad humana o a partir de fuentes litógenas (Cook, 1977; Selvakumar, Chandrasekar, & Kumar, 2017) (**Figura 3**); como ejemplo al caso en la India el recurso hídrico es enorme pues resulta que solo el 9 % de las aguas residuales son tratadas, la diferencia de esta cantidad se vierte



a cuerpos hídricos descargándose posteriormente a zonas costeras, en estas descargas diversos estudios confirman altas concentraciones de Cd, Pb, Cu, y Zn (Rajaram & Ganeshkumar, 2018). En el agua los metales como contaminantes aportan al agotamiento de oxígeno y enriquecimiento elevado de nutrientes (Fleeger, Carman, & Nisbet, 2003; Hughes, 1985). Es importante también tomar en consideración el aporte de las áreas urbanas a la contaminación por metales pesados; Islam Shajib, et al. (2019) en áreas de tráfico urbanas reporta metales en aguas de escurrimiento, en el estudio las concentraciones de Cd, Fe, Mn y Zn fluctúan entre días secos y lluviosos, siendo concluyente que la carga metálica en el agua se incrementa debido a residuos de la actividad minera en la localidad. Por otro lado en Kokoteasua (Ghana), Gyamfi et al. (2019) en una área comunitaria reporta altos niveles de As y Zn en el agua subterránea, Mn, Fe y pH por encima de los límites de permisibilidad dados por la OMS en agua natural esto debido a la descarga directa de efluentes residuales con elementos metálicos traza en agua y suelo del área comunitaria.

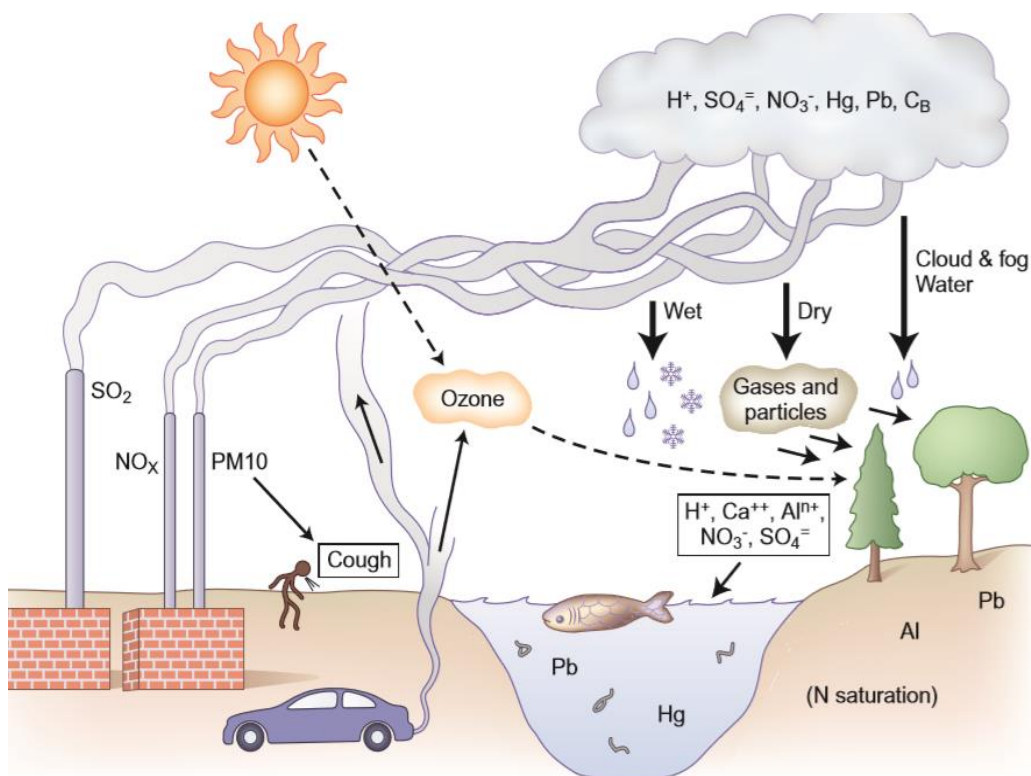
#### **1.4.4.3. Emisión al suelo**

Los metales naturalmente forman parte de la constitución del suelo, siendo disgregados o agregados por el hombre debido al uso de pesticidas y fertilizantes químicos, emisiones industriales y minería ilegal (Ahmad, Najeeb, & Zia, 2015; Saha et al., 2017) (**Figura 3**), en áreas urbanas resultan ser bombas químicas de concentración progresiva (Held, 1998; Jia, Li, & Wang, 2018).

Osman (2018) cita la abundancia de los metales más comunes en el suelo; Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu y Hg cuya dinámica parte de iones libres en disolución que se absorben en partículas formando complejos organominerales transformándose en contaminantes y cooprecipitando (García et al.,

2002a). Algunos metales pueden considerarse potencialmente tóxicos (PTM) en el suelo no necesariamente asociándose con orígenes antropogénicos, son solubles, intercambiables, complejados con material orgánico y su forma puede alterarse por distintos factores como: pH, potencial de reducción, fuerza iónica de la solución del suelo, etc., para las plantas los metales pueden ser biodisponibles al entrar en contacto de forma física o al absorberse por sus raíces de forma química (Sultana et al., 2014; Patinha et al., 2017; Adamo, Agrelli, & Zampella, 2018).

#### 1.4.5. Movilización directa de metales en la naturaleza



**Figura 4.** Lluvia acida y su reacción química en el suelo, movilización directa de metales pesados.

**Fuente:** (Likens, 2013).

#### **1.4.5.1. Lluvia acida**

La lluvia acida es reconocida como un problema ambiental generalizado, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno que se concentran en la atmosfera reaccionan con la humedad y el oxígeno atmosférico disolviéndose en lluvia acida con concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico (Likens, 2013; Breeze, 2017), cuando se presenta una precipitación acida sobre los suelos los cationes unidos a las cargas negativas en las superficies de las partículas del suelo se intercambian con iones de H incrementándose la concentración metálica en el agua lluvia, posteriormente esta se escurre a cuerpos hídricos, en fin los suelos se acidifican incrementando los niveles de Cd, Al, Hg, y Pb (Vallero, 2006; Bjerregaard et al., 2015; Likens & Butler, 2017), (**Figura 4**).

#### **1.4.5.2. Eutrofización**

La eutrofización es el exceso de nutrientes debido al crecimiento acelerado de fitoplancton, puede ser considerada como un punto de partida para la perturbación del equilibrio ecológico del agua (Bortone, 2016; Lemley & Adams, 2019), en masas de agua la eutrofización puede ser vista como una respuesta al suministro de elementos antrópicos o más bien como la acumulación natural de nutrientes traza, la producción de fitoplancton se condiciona en función a la disponibilidad de P y N que según Smith (2009) esta correlacionado con la geología que presentan las cuencas hidrográficas, el N resulta ser el nutriente limitante en las aguas de mar a diferencia del P en lagos ( Muñoz, Contreras & Molero, 2018; Martínez, 2018).

En los lagos Chenghai, Qinghai y Jingpohu (China), Zhang et al (2018) reportan el estado de los mismos concluyendo que la eutrofización que presentan los cuerpos de agua es progresiva y el enriquecimiento de metales no es grave a excepción de Cd, Pb y Hg en Chenghai y Qinghai, a la

vez un análisis de datos meteorológicos registrados han permitido esclarecer que la temperatura y precipitación probablemente están influyendo en la entrada de metales pesados a los lagos, en fin según como lo cita (Dorgham, 2014) la eutrofización y la presencia de elementos metálicos pone en riesgo la vida acuática.

### **1.4.5.3. Oxidación de la pirita**

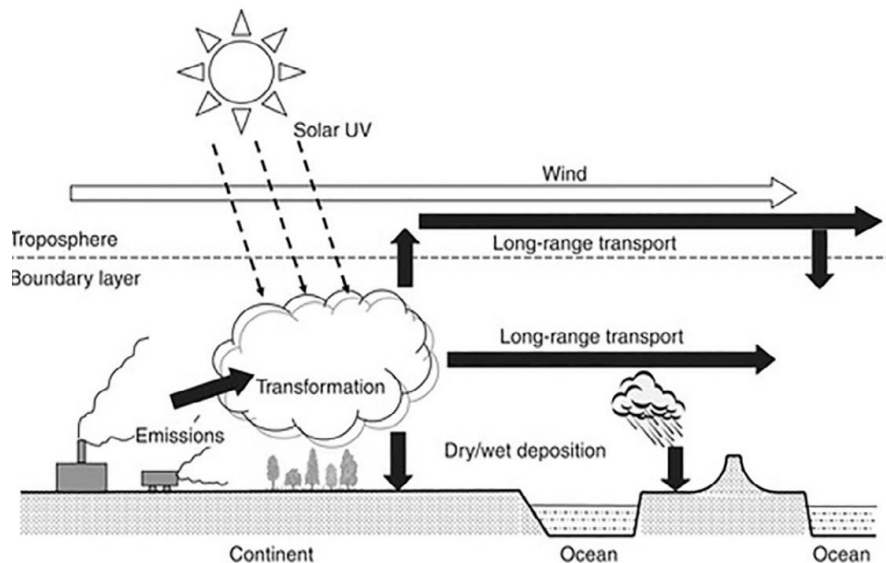
La pirita o químicamente conocida como bisulfuro de hierro ( $\text{FeS}_2$ ) es un mineral muy común hallado en cualquier entorno geológico (Hawkins, 2013; Khalid et al., 2018), en el medio natural se precipita por la acción de bacterias, a la vez también en ambientes anaerobios el ingreso de oxígeno oxida la pirita formando óxidos de hierro e hidróxidos que suelen filtrarse en las corrientes de agua (Shuey, 1975; Hawkins, 2013), por lo que según Komnitsas, Xenidis, & Adam (1995) la presencia de hierro metálico en el agua está condicionado por factores críticos como la disponibilidad y difusión de oxígeno, temperatura y actividad bacteriana en los poros del suelo.

La oxidación en curso de la pirita da cabida a la formación del drenaje ácido de la mina (AMD), la cual al ingresar a las corrientes de agua expone a los peces al contacto con metales e iones de  $\text{H}^+$  (Luptáková & Andráš, 2018), el AMD en el agua tiende a recubrir la superficie tanto de la corriente como de los sedimentos induciendo al cambio de color de los cuerpos de agua así como a disminuir gravas para el desove de peces y hábitat de microorganismos bentónicos (Parbhakar-Fox & Lottermoser, 2016).

Haraguchi (2016) no considera a la pirita como un peligro ambiental cuando está asociada a material edáfico con otro tipo de composición, así también cita que la contaminación de los acuíferos por la oxidación de la pirita incrementa los niveles de sulfato, disminuye el pH y mejora

el contenido de Ni, Co, Cu, Pb y Zn, en complemento Balintova et al. (2018) manifiesta que la concentración del vertido de metales al agua a causa del AMD fluctúa dependiendo de la estación seca o lluviosa, siendo así que el AMD en áreas mineras mal llevadas puede ser la principal causa de la contaminación ambiental del agua.

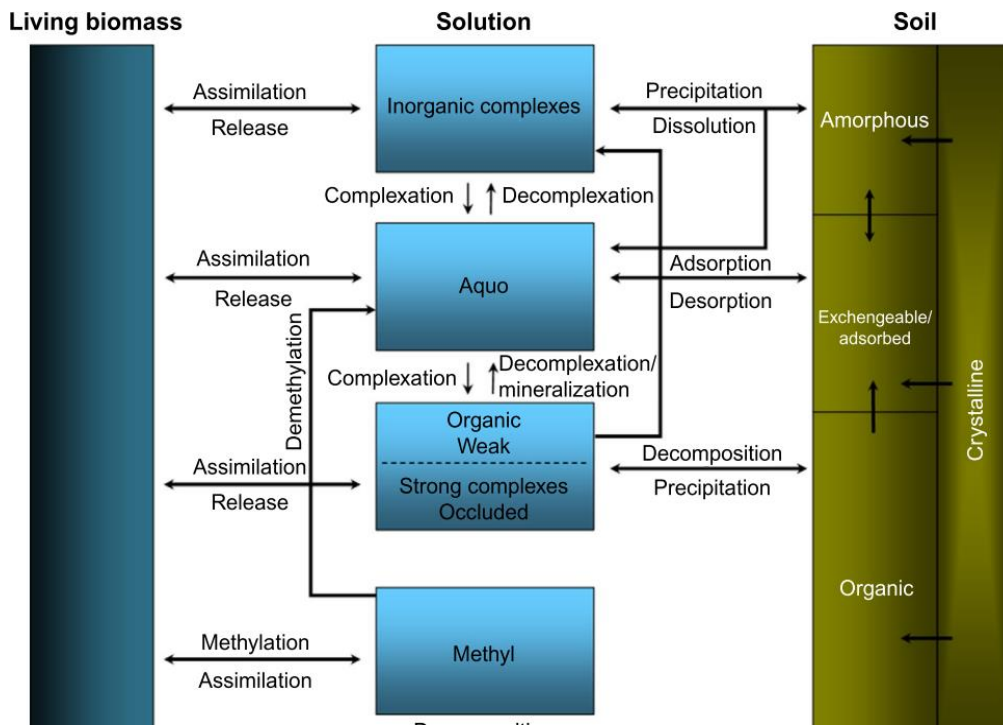
#### 1.4.6. Transporte biogeoquímico de metales



**Figura 5.** Transporte horizontal, vertical y deposición de contaminantes metálicos en la atmósfera.  
Fuente: (Ohara, 2019).

De forma general un metal pesado concentrado en la atmósfera y litosfera tiende a ser transportado hacia la hidrosfera (Salomons & Förstner, 1984), como mecanismos de transporte de metales la volatilización y erosión son los más importantes (Eisenbud & Gesell, 1997; Doula & Sarris, 2016; Cachada et al., 2018), en el aire los metales en trazas se asocian a partículas y aerosoles transportándose por acción del viento en direcciones horizontales y verticales llegando a experimentar transformaciones físicas y /o químicas y deposición, (**Figura 5**), su tiempo de residencia en el aire varía de días a meses siendo posible su dispersión a largas distancias (Jickells & Baker, 2015; Ohara, 2019).

En el agua los metales pasan por un proceso de especiación y su destino y toxicidad depende en gran medida de este proceso y forma en la que se aloja el metal en el sistema acuático, los iones metálicos hidratados forman ligandos de tipo orgánico e inorgánico, un ligando dona fácilmente un par de electrones a iones metálicos con carga positiva creando iones complejos, en el agua de mar estos iones complejos toman formas metálicas siendo altamente tóxicas fácilmente difundidas en las paredes celulares y acumuladas en las células de organismos vivos (Bjerregaard et al., 2015; Achterberg et al., 2019).

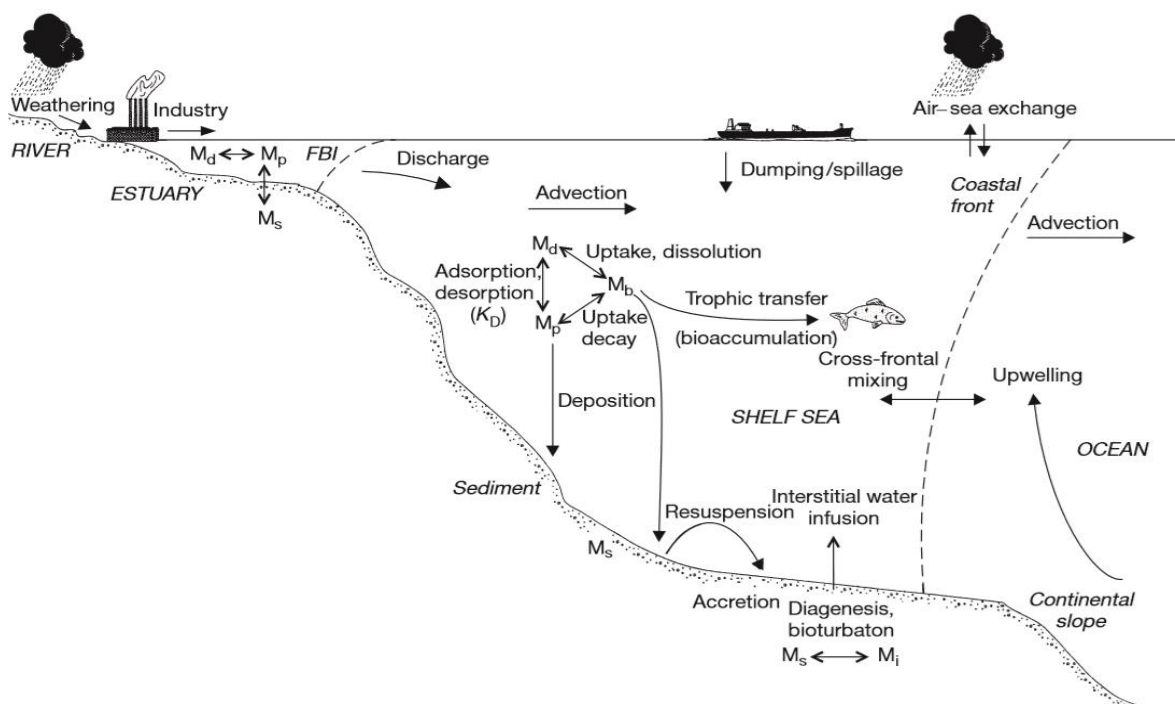


**Figura 6.** Diagrama general del transporte de metales traza en el medio ambiente, mineralización del metal en el suelo y biomasa viva.

**Fuente:** (Millward, Turner, & He, 2019).

Tanto en el suelo, agua y biomasa viva el transporte de metales pesados es un tanto complejo, la movilización o inmovilización de estos elementos se efectúa dentro de fases sólidas ya que es común encontrar oligoelementos que parten de soluciones sólidas que por adsorción, desorción,

precipitación o disolución en asociación a material orgánico posteriormente se mineralizan, metilizan y finalmente son asimilados por la biomasa viva (Di Bonito, Lofts, & Groenenberg, 2018), (**Figura 6**), por consiguiente todos estos mecanismos que forman parte en el transporte metálico de una u otra manera inducirán a la disponibilidad de los metales y su variación de un organismos a otro limitándose al tipo de sistema en función del estado químico en que se presenten (Glasauer et al., 2013).



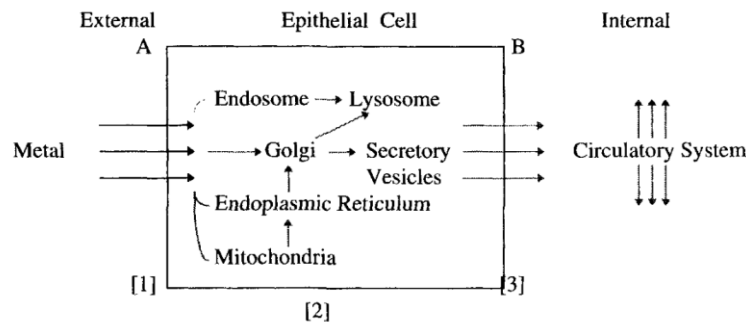
**Figura 7.** Bosquejo del transporte Biogeoquímico de metales pesados en zonas costeras (FBI: agua superficial,  $M_d$ : compartimentos metálicos en disolución,  $M_p$ : partículas suspendidas,  $M_s$ : sedimentos,  $M_i$ : agua intersticial,  $M_b$ : Partículas biogénicas). **Fuente:** (Millward et al., 2019).

Cabe mencionar que el transporte de metales en el suelo está íntimamente ligado al material geológico del cual se halle estructurado; la presencia de pirita en el suelo lo hace vulnerable a la contaminación ambiental por sulfatos, además de los procesos erosivos naturales y actividades industriales ponen a disposición de la escorrentía y flujo superficial el acarreamiento de partículas metálicas a cuerpos de agua subterráneos, lagos, ríos, estuarios hasta llegar a mar abierto, en este

ultimo los elementos metálicos en disolución pasan a formar partículas en suspensión y sedimentos y viceversa, posteriormente estos son absorbidos, depositados y bioacumulados, seguramente ingresando a la cadena trófica alimenticia (Liang & Wong, 2007 ; Kalev & Toor, 2017; Millward et al., 2019), (**Figura 7**). En sistemas acuáticos de litoral la dilución de elementos metálicos es marcada pues resulta que el incremento de pH, temperatura, salinidad y aireación influye en los aportes fluviales, escorrentía y sedimentos traza de las zonas continentales, lo que consecuentemente en la dinámica de los metales activa su rápida disolución y transferencia a los organismos que habitan esas aguas (Ahumada et al., 2006; Gadd, 2009; Mitra & Zaman, 2016).

### 1.4.7. Toxicocinética de los metales

#### 1.4.7.1. Absorción



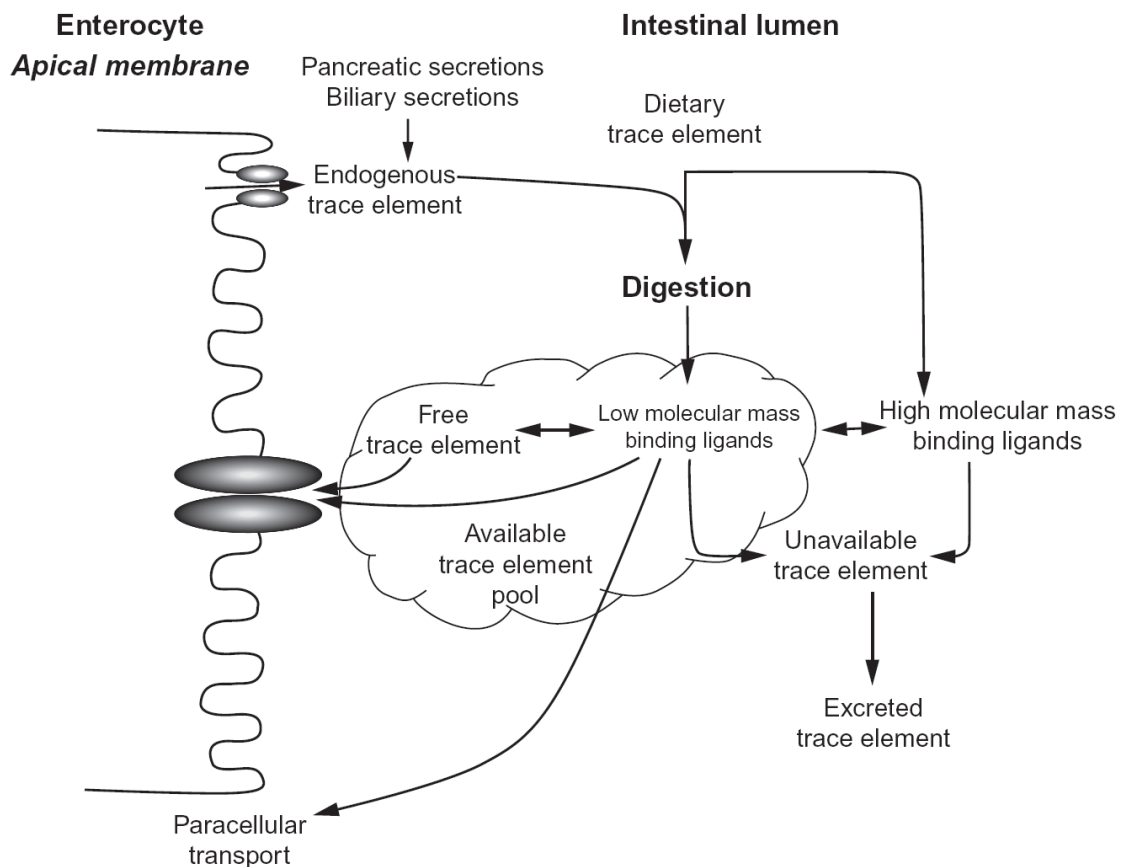
**Figura 8.** Absorción metálica en el organismo acuático.

**Fuente:** (Deb & Fukushima, 1999a).

La absorción de los metales según (Cousins, Liuzzi, Properties, & Trace, 2018) está condicionada por sus propiedades físicas y bioquímicas, mientras más degradados se encuentren los metales resultan ser más fácilmente absorbidos, es ahí donde la solubilidad juega un papel importante en la absorción metálica. En organismos acuáticos, la absorción de metales se lleva a cabo por la transferencia del elemento hacia el sistema circulatorio, en asociación al agua o al



alimento los metales ingresan por el epitelio o gill, branquias y/o sistema digestivo (**Figura 8**), suscitándose luego la captación por la membrana apical, movimiento e interacción con ligandos intracelulares y flujo de salida a través de la membrana basolateral; una vez que los metales se encuentren en el intestino en su forma libre se ponen a disposición de la biota intestinal para ser solubilizados por acción de los ácidos gástricos y neutralizados favoreciendo a la formación de ligandos (Deb & Fukushima, 1999b).



**Figura 9.** Captación, movimiento e interacción intracelular en el procesamiento intestinal y absorción de los metales. **Fuente:** (Cousins et al., 2018).

En el pez en el mejor de los casos existe la posibilidad que los metales ingresen a las células en forma inorgánica, el Hg puede difundirse en la membrana celular, el Cd ingerido se une al moco en el intestino del pez, el cobre a la albúmina y ceruloplasmina de la sangre al igual que el zinc al

hígado en la bilis (Andrasson & Dave, 1995), donde se acumula antes de distribuirse a huesos, músculos y piel (Olsson, Kling, & Hogstrand, 1998), (**Figura 9**). Como reacción biológica del organismo a la exposición del metal se presentan cambios de comportamiento, reacciones de evitación, tos y alteraciones en la locomoción (Atchison, Henry, & Sandheinrich, 1987).

#### **1.4.7.2. Distribución, almacenamiento y secuestro**

Los metales absorbidos por un organismo vivo por acción de las proteínas pueden ser distribuidos como iones libres que en el transcurso forman ligandos y son almacenados como metaloproteínas, ciertas proteínas como la metalotioneína (MT) presentan cierta afinidad por los metales funcionando en la unión de metales esenciales y defensa mediante el secuestro de metales no esenciales, según como lo pone en conocimiento Kennedy (2011) se ha podido identificar a esta proteína en las mayoría de tejidos incluida la sangre, en los peces las MT aumenta su tolerancia a los metales reduciendo su excreción debido al secuestro y a la vez potenciando la bioconcentración y transferencia a la cadena trófica.

De forma particular el secuestro comprenderá la inmovilización de los elementos metálicos en los diversos tejidos y órganos que involucren su captación, distribución, y liberación, resultando ser temporal (Coombs, 1980; Deb & Fukushima, 1999b); es importante tomar también en consideración la tolerancia de ciertos individuos a los contaminantes, Niimi & Kisson (1994) evaluaron concentraciones de 15 mg de metilmercurio / kg de carne de trucha concluyendo que el periodo de vida del individuo era superior al día de supervivencia siendo exacto 15 días.

### **1.4.7.3. Biotransformación**

Los elementos metálicos pueden sufrir una transformación en su transporte desde las fuentes de emisión hasta los receptores, en continuidad en el organismo receptor estos pueden ser biotransformados, el mercurio en la naturaleza es transformado por bacterias en metilmercurio, se bioacumula fácilmente en los peces y se biomagnifica a través de la cadena trófica ( Roch et al., 1985; D'Itri, 1992; Martinez & Senior, 2001; Jaishankar et al., 2014; Schweitzer & Noblet, 2018), en su forma orgánica como metilmercurio resulta ser fácilmente asimilable por el intestino teniendo la posibilidad de biotransformarse en el organismo debido a un proceso de recirculación del metilmercurio a través de la bilis, este proceso permite que las bacterias intestinales puedan desmetilar el metilmercurio a mercurio inorgánico que es menos inofensivo, de forma general los procesos de biotransformación tienen lugar en el hígado y hepatopáncreas o glándulas digestivas (Miettinen, 1975; Chi & Lu, 2018; Beiras, 2018).

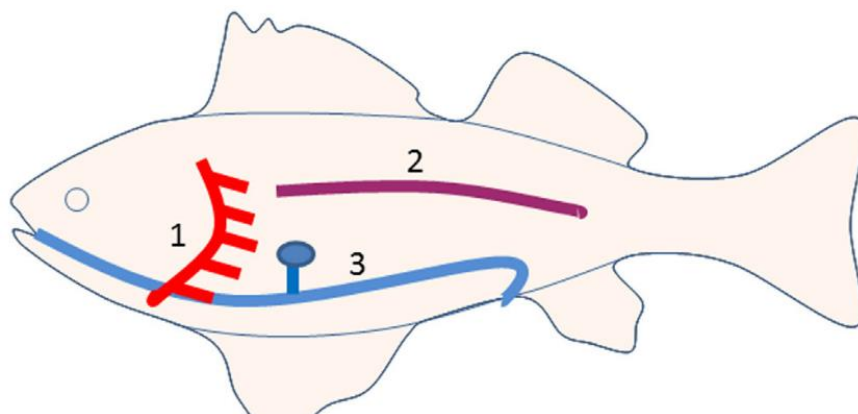
### **1.4.7.4. Excreción**

A fin de deshacerse de las sustancias que han absorbido los organismos emplean diferentes vías de eliminación en la que la estrategia consiste en inmovilizar y neutralizar la toxicidad del elemento (secuestro), eliminación de moléculas (eliminación) o la transformación enzimática que facilite la excreción, siendo frecuente que la excreción de metabolitos biotransformados se puedan eliminar a través de la orina o bilis (Beiras, 2018; Zhao, Sultan, & Liu, 2019).

El aluminio absorbido es excretado a través de los riñones siendo estos primordiales en la eliminación de iones metálicos (Schafer et al., 1999). El mercurio por otra parte resulta ser un poco más complejo en su forma metálica es fácilmente asimilado y su estancia en el intestino puede

transformarlo en mercurio de tipo inorgánico mucho menos tóxico y fácilmente excretado por la acción hepática (Goyer, 1975).

En los peces entre los sitios de eliminación de metales se encuentra el sistema hepatobiliar, riñones, branquias, sistema digestivo, huevos, embriones, piel y escamas, siendo su capacidad limitada (Cruz, 1979). Según Nikinmaa (2014) entre las principales vías de excreción de los peces se hallan las branquias, riñón e hígado (**Figura 10**).



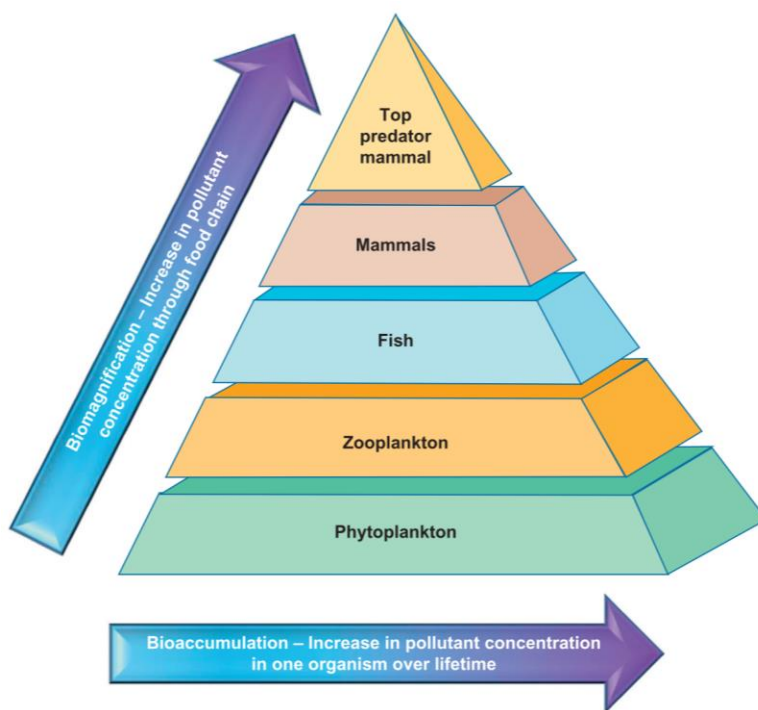
**Figura 10.** Vías de excreción de metales en peces, 1) Branquias 2) Orina 3) Bilis.  
**Fuente:** (Nikinmaa, 2014).

#### **1.4.7.5. Bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación**

Cuando un organismo ya ha tenido contacto con un elemento contaminante no necesariamente de tipo metálico su respuesta común será secuestrar, biotransformar y excretar el contaminante, pero las propiedades particulares de difícil degradación que presentan los metales pesados potencia la tendencia a la bioconcentración, acumulación y magnificación (Molina, Ibañez, & Gibon, 2012; Janadeleh & Kameli, 2017).

Si solo considerásemos la captación de metales en el agua por el organismo lo que se presenta es un proceso de bioconcentración, pero a la larga cuando se presentan aportes de alimentos y

sedimentos se pone por manifiesto ya un proceso de bioacumulación (Chojnacka & Mikulewicz, 2014), este último en una larga línea de tiempo representa el grado de exposición del organismo al contaminante (Sadiq, 1992; Kennish, 2016), si el individuo evade daños las concentraciones de elementos metálicos van a verse elevadas, muy aparte si este es presa dentro de la cadena trófica y el contaminante sube de nivel se considera que el elemento ha pasado a ser biomagnificado siendo posible su ingreso al organismo humano (Gupta, 2018) (**Figura 11**).



**Figura 11.** Bioacumulación y biomagnificación de contaminantes en la cadena trófica alimenticia.  
**Fuente:** (Popek, 2018).

Ya en el cuerpo humano estos elementos toman caminos diferentes el Cu puede acumularse en el hígado causando lesiones a los lisosomas, el Cd puede eliminarse en las heces en 10 a 15 días en un 94% y a la larga sus trazas circulan en la sangre entre 15 y 20 años, el Pb se adhiere a los glóbulos rojos, el Hg produce muerte celular y daño al feto (Musman, 2010).

#### **1.4.8. Efectos biológicos y toxicológicos de los metales**

La toxicodinámica de los metales difiere de la toxicocinética describiendo lo que hace el elemento en el receptor con el cual entra en contacto (Evans, 2006). A continuación, se describe la toxicodinámica de los elementos de interés en el presente estudio.

##### **1.4.8.1. Aluminio**

Segundo metal más usado en el mundo de utilidad en el campo industrial del acero (Junta de Castilla y León, 2008). Se acumula en mitocondrias celulares, recorriendo por la sangre hasta llegar al cerebro, presenta efectos tóxicos de interferencia en la homeostasis del Fe causando disrupción celular (Crichton, 2019). El aluminio en corrientes de agua se halla como silicatos de aluminio y tiende a acumularse en las branquias de los peces pudiendo con efectos posteriores de disfunción respiratoria (Hurtado, Herbach, & Campos, 2015). Si este elemento se biomagnifica en el ser humano compite con iones de calcio, hierro y magnesio provocando una sustitución de enzimas y proteínas que a la larga altera el metabolismo celular y el sistema nervioso pudiendo relacionarlo como causa del mal de Alzheimer (Hidalgo, 2012).

##### **1.4.8.2. Mercurio**

En la naturaleza se halla en estado líquido (Eisler, 2006), predomina de manera natural como  $Hg^0$  y en iones mercúricos  $Hg^{+1}$ ,  $Hg^{+2}$  (Moore & Ramamoorthy, 1984), presenta una potencial forma de bioacumularse en el organismo inhibiendo la actividad enzimática y muerte celular (Taylor, 1979), se lo considera como el principal causante de la tragedia de Minamata (Japón) (D'Itri & D'Itri, 1978; Sharon, Zuber, & Newman, 2017). Se introduce en la naturaleza a causa de

procesos naturales como la erosión y erupciones volcánicas, así también el empleo de fertilizantes, fungicidas y minería (Eisler, 2004; Falcó, Nadal, & Llobet, 2012). La concentración de Hg en peces va a ser dependiente de la posición del individuo en la cadena trófica y de sus hábitos alimenticios (Marins et al., 2004).

#### **1.4.8.3. Plomo**

Elemento químico que por sus propiedades físicas y químicas lo hacen de uso variado en las actividades industriales (García-Iestón et al., 2010), en aguas de mar su concentración oscila entre 0,003 y 0,20 mg/lit, (Rubio et al., 2004), el riesgo potencial que implica este toxico se halla en que puede ocasionar efectos carcinógenos dependiendo de la exposición a la dosis (Ortiz & Alama, 2015). En el ser humano puede ocasionar alteraciones hematológicas, anemia , alteraciones gastrointestinales y neuropatía (Tirado et al., 2015) así como también dificultades en el sistemas motor con síntomas de debilidad y convulsiones (Falcó et al., 2012). Estudios para medir las concentración de metales en peces reportan cantidades elevadas de plomo en hígado de peces de agua dulce (Repula et al., 2012).

#### **1.4.9. Bioindicadores ambientales**

Se define como bioindicador ambiental a la característica medible de forma objetiva o subjetiva, que brinda información sobre la condición, estado, calidad o cambio de un ecosistema y sus factores (Bortone, 2016). Según a como lo cita y difiere Sparling (2016) un biomarcador es considerado como medida funcional de exposición caracterizado por su nivel organizativo muy por debajo del organismo, como respuesta fisiológica, a la par y muy por el contrario un bioindicador es un poco complejo, pues resultan ser aquellas estructuras o procesos que reflejan

información de la exposición, siendo en si los efectos que se suscitan en los niveles más altos de organización como poblaciones o comunidades.

Como instrumentos de monitoreo los bioindicadores resultan ser agentes que responden a estímulos como el cambio en sus funciones vitales y acumulación de contaminantes en su tejido vivo (García, Sarmiento, Salvador, & Sabrina, 2017), por lo que evaluar la integridad ecológica de los cursos hídricos empleando bioindicadores es una tendencia que está cobrando fuerza a nivel mundial (Pernia, Mero, & Arcos, 2016), se monitorea ecosistemas lenticos y loticos bajo la manipulación de peces en programas de monitoreo biológico (Romano, 1999; Velázquez & Vega, 2004). Por lo tanto los peces están considerados como herramientas de monitoreo, permitiendo caracterizar y evaluar la calidad del agua (Ibarra, 2005; Lins, Kirschnik, Queiroz, & Cirio, 2010; Stankovic & Stankovic, 2013).

El empleo de peces como bioindicadores ambientales de ecosistemas acuáticos se debe a su adecuación a la aplicación de métodos que permiten evaluar los impactos de los contaminantes en las poblaciones (Chovanee, Hofer, & Schiemer, 2003), la información que brindan estos especímenes involucran cambios espaciales en la calidad del recurso hídrico (García et al., 2017), para la selección del individuo indicador será importante considerar ciertos criterios de selección como el metabolismo (Borgå et al., 2012; Nolla Alomar & Miquel, 2016), facilidad de captura e información historial de la especie (Vásquez, Castro, Gonzáles, Pérez, & Castro, 2006).

Cuando se haya efectuado el monitoreo del recurso hídrico empleando un organismo vivo los resultados permiten correlacionar la concentración de los contaminantes en el hábitat de los individuos y el medio acuático externo (Selvin, Priya, Kiran, & Bhosle, 2006), además de los resultados que se obtengan efectuar una caracterización de peso, tamaño y edad permitirá discernir



y ampliar el comportamiento del contaminante en una línea de tiempo que estará condicionada al suministro de alimento, peces viejos tienden a almacenar concentraciones elevadas de metales en diferentes órganos (Oehlenschläger, 2002).

#### 1.4.9.1. Trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972)



**Figura 12.** Individuo de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

**Fuente:** (Jiménez, Lacomba, Sancho, & Risueño, 2002)

*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) llamada comúnmente trucha arcoíris, es un pez perteneciente a la orden Salmoniformes, familia Salmonidae, de cuerpo alargado en promedios longitudinales de 25 y 30 cm en arroyos, coloración en función de su estado de madurez sexual, el macho presenta colores más intensos en la época de reproducción, habita en aguas de corriente rápida con bajas temperaturas y bien oxigenadas (Reyes & Ortega, 1998; Arbeláez & Vega, 2008), (**Figura 12**), ejemplar autóctono del oeste de Norteamérica y del este de Asia, introducida ampliamente fuera de su rango natural en Sudamérica, Europa, el sur de Asia, Japón, África, Australia y Nueva Zelanda (Pennell & Barton, 1996; Yarahmadi et al., 2016).

Su facilidad y velocidad de adaptación en medios acuáticos de bajas temperaturas ha impulsado la acuicultura de agua dulce en la mayoría de países andinos de latinoamérica y el mundo (Fornshell, 2002). De alimentación oportunista, Quinn (2011) manifiesta que estos individuos de salmónidos en sus primeros meses de vida se alimentan de insectos y fitoplancton y conforme

alcanzan su estado de madurez y tamaño varían su alimentación incorporando a su dieta peces de menor tamaño y macroinvertebrados, representando una amenaza para la biodiversidad acuática (Contreras & Gutiérrez, 2009; Velázquez, Rivera et al., 2014), por el riesgo que representa su introducción de en zonas que están constituidas por una abundante riqueza nativa de peces se la ha catalogado como una especie exótica invasora a nivel mundial (Lowe, Browne, & Boudjelas, 2000 ; Aguirre et al., 2009), su colonización en ríos y lagos ha dado como resultado reproducciones híbridas, depredación y competencia (Woodford & Impson, 2004; Habit et al., 2015), de acuerdo a como lo cita (Loubens, 1983) a este individuo se lo hace responsable de la desaparición de *Orestias cuvierien*, especie nativa del lago Titicaca, en ríos altoandinos no solo depredan huevos y larvas de anfibios *Engystomops petersi* sino que también se presentan como vectores de patógenos acuáticos transmisión de *Saprolegnia diclina* (Martín et al., 2016).

La trucha arco iris presenta un alto nivel de tolerancia y adaptabilidad a una amplia gama de ambientes, estableciéndose y dispersándose casi sin límites (Velázquez et al., 2014), puede llegar a migrar y habitar en todos los tramos de un río (Copley, 1940; James, Kelso, & Zealand, 1995; Dedual et al., 1999; Tattam et al., 2013), siendo probable que ciertos factores ambientales como niveles de luz en el agua (Rowe & Chisnall, 1995), oxígeno disuelto (Swales, 2006), cambios de temperatura y alteración del recurso alimenticio (Martinez et al., 1992; Morgan, 2000; Benjamin et al., 2013) tengan cierta repercusión en su hábitat.

El empleo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) como indicador de la calidad del agua y perturbación del medio acuático es pertinente y aceptable, bajo el diagnóstico morfológico y funcional del organismo ante contaminantes naturales y antrópicos, estos últimos resultado del empleo de agua como recurso natural para el suministro doméstico e industrial, actividades

comerciales, mineras, generación de energía y recreación (Abel, 1996; González et al., 2015; UNESCO-WWAP, 2016). En definitiva, la trucha arco iris como indicador biológico, al entrar en contacto con contaminantes metálicos presenta una gran resistencia y biodisponibilidad; de acuerdo con (Vega et al., 2015) el porcentaje de mortalidad de estos individuos es bajo, su tolerancia y adaptabilidad a contaminantes metálicos es significativa en concordancia a su buen desarrollo fisiológico.

#### **1.4.9.2. Estudios preliminares empleando *Oncorhynchus mykiss***

Organismo acuático introducido a nivel mundial, presenta una gran capacidad de bioacumular contaminantes metálicos, representando un potencial indicador biológico de la contaminación del agua, en el mundo se han llevado diversos estudios de valoración de metales pesados empleando este espécimen:

-En Italia se ha estudiado ( Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Ni, Mn) en los ríos Augraben y Leiferer Graben, mediante el análisis comparativo de elementos metálicos en sedimentos, invertebrados bentónicos y trucha arco iris, reportando concentraciones altas en hígado, riñón, branquias y tracto digestivo pero aun así la carga del metal en el pez es mucho menor a la de los organismos bentónicos de los cuales suele alimentarse indicando que los elementos en el pez son abandonados a través de las heces (Dallinger & Kautzky, 1985).

-En Nueva Zelanda la presencia de individuos de trucha arcoíris sirvieron para analizar Hg, Cd, Cu, Fe, Mn y Zn en el lago Maraetai, donde se pudieron evidenciar altas concentraciones promedio de Hg en carne de peces capturados alrededor de 11,40 µg/g/1, esto se supone debido a la presencia

de una fábrica de pulpa y papel cercana a la zona , el resto de elementos no han sido detectados fuera del límite permisible (Brooks, Lewis, & Reeves, 1968).

-En Corea del Sur se consiguió estudiar las concentraciones de metales pesados en la acuicultura continental del país, reportando bajos niveles de *Hg*, *Pb*, *As* y *Cd* (Choi et al., 2016), orden de concentración ver en **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Concentración de metales pesados en Corea del Sur

<i>A. japónica</i>	Hg	Pb	As	Cd
<i>C. Carpio nudus</i>	Hg	As= Cd	Pb	
<i>O. mykiss</i> , <i>P. fulvidraco</i> , <i>S. asotus</i> y <i>P. sinensis</i>	Hg	As	Pb	Cd
<i>S. coreana</i>	Hg	Pb	Cd	As

**Fuente:** (Choi et al., 2016).

-En Irán se evaluó la presencia de Zn, Cu, Ni, Cd y Pb en cuatro granjas de trucha arco iris a lo largo del río Haraz, el análisis en músculos en ( $\mu\text{g/g}$ ) reportó Zn (13.92–15.92), Cu (0.54–0.74), Ni (0.12–0.26), Cd (0.008–0.01) y Pb (0.25–0.57) (Dadar et al., 2016) el orden de concentración se describe en **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Concentración de metales pesados en tejidos, agua y alimentación

<b>Tejido comestible</b>	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
<b>Agua</b>	Pb	Zn	Cu	Ni	Cd
<b>Alimentación de los peces</b>	Pb	Zn	Ni	Cu	Cd

**Fuente:** (M. Dadar et al., 2016)

-En Turquía se reporta el cotejo de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en estado libre y de granja con otros especímenes de mejillón, cangrejo, y peces nativos de la zona (Varol, Kaya, & Alp, 2017), la presencia de metales por individuo se describe en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** *Concentración de metales por individuo*

<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
Carpa común	Trucha arcoíris libre	Trucha arcoíris libre	Trucha arcoíris de granja	Carpa común
Barra del Éufrates	Carpa común	Púa de la trucha	Carpa común	Mangar
Trucha arcoíris de granja	Trucha arcoíris de granja	Carpa común	Mangar	Rascador Tigris
Mangar	Éufrates barra	Rascador Tigris	Barra del Éufrates	Púa de la trucha>
Rascador Tigris	Mangar	Mangar	Púa de la trucha	Barra del Éufrates
Trucha arcoíris libre	Trucha barba	Trucha arcoíris de granja	Raspador del Tigris	Trucha arcoíris de granja
	Tigris raspador	Barra Éufrates	Trucha arcoíris escapada	Trucha arcoíris libre

**Fuente:** (Varol et al., 2017)

### 1.4.10. Normativa ambiental

En materia ambiental el límite máximo de permisibilidad de las concentraciones de metales pesados en peces a nivel nacional no se halla establecido, toda actividad que involucren elementos metálicos en peces como alimentos se sostienen en referencia a la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, Organización Mundial de la Salud, Agencia de Protección Ambiental de los EEUU y Agencia Internacional de Energía Atómica.

**Tabla 5.** *Limites máximo de permisibilidad de metales pesados en tejido muestral de peces*

<b>Referencia</b>	<b>Aluminio</b>	<b>Mercurio</b>	<b>Plomo</b>
<b>(FAO, 1983) *</b>	---	0,5 mg/ kg	0,5 mg/ kg
<b>(OMS, 1995) **</b>	---	0,5-1 mg/ kg***	0,3 mg/ kg
<b>(EPA, 2002) ****</b>	---	0,5 mg/ kg	4 mg/ kg
<b>(Wyse et al., 2003)</b> *****	13,8 mg/ kg	0,22 mg/ kg	0,12 mg/ kg
<b>(UE, 2017) *****</b>	---	0,5 mg/ kg	0,30 mg/ kg

\* FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

\*\* OMS, Organización Mundial de la Salud.

\*\*\* 0,5 mg/ kg para pescado y 1 mg/ kg para peces depredadores.

\*\*\*\* Environmental Protection Agency.

\*\*\*\*\* IAEA, International Agency of Energy Atomic.

\*\*\*\*\* Unión Europea.

## 2. Materiales y métodos

El muestreo en campo se llevó a cabo siguiendo la metodología del estado ecológico según la directiva marco del agua (Confederación hidrográfica del Ebro, 2005), en la parte alta y baja de la red hidrográfica principal del río Irquis. Para el muestreo se solicitó al Ministerio del ambiente un permiso de investigación, considerándose innecesario por la autoridad ambiental (**Anexo 2**). Los muestreos se programaron en dos días consecutivos desde las 05:00 am hasta las 17:00 pm.

### 2.1. Ubicación del lugar de muestreo

A lo largo del río principal del Irquis se establece 10 puntos de captura, las coordenadas fueron tomadas bajo el sistema de coordenadas universal transversal de Mercator empleando un GPS Garmin eTrex® 20 (**Tabla 6**), el mapa respectivo ver en (**Anexo 3**)

De los 10 puntos de muestreo en la zona alta de la microcuenca se definen seis puntos, de los cuales la mitad de estos están distribuidos dentro de la concesión, los tres puntos restantes se ubican hasta donde las condiciones de topografía del área hidrográfica permiten el acceso, por el contrario, en la zona baja los puntos de captura parten desde la bocatoma de agua potable de la empresa ETAPA EP hasta el canal de riego de la comunidad Irquis - Seraturo.

**Tabla 6.** *Puntos de muestreo del estudio en la microcuenca del Iruis*

<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
P1	698203	9663532
P2	698873	9663455
P3	699976	9662434
P4	701145	9661775
P5	701960	9661437
P6	702492	9660550
P7	710255	9660530
P8	710851	9660589
P9	711503	9660623
P10	711913	9660227

Coordenadas geográficas obtenidas en el sistema universal transversal de Mercator **Fuente:** Autora.



## 2.2. Recolección de muestras

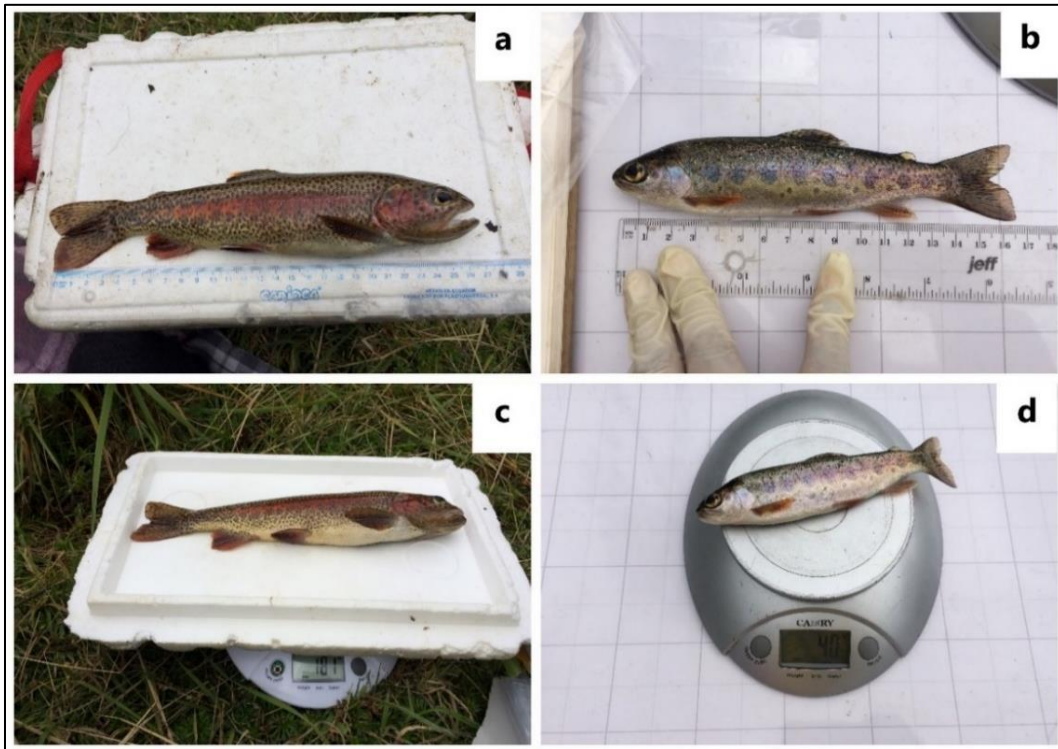


**Figura 13.** Pesca de ejemplares empleando atarraya, (a) y (b) captura de ejemplares en la zona alta, (c) y (d) captura de ejemplares en la zona baja de la microcuenca.

**Fuente:** Autora.

Un total de 33 individuos se capturaron entre abril y mayo de 2019, en el primer muestreo se tomaron 12 ejemplares en los 10 sitios de captura, las muestras tomadas se definen como muestras de referencia, siendo las 21 muestras restantes obtenidas en el segundo muestreo muestras de cotejo. El material de campo se enlista en (**Anexo 4**). El muestreo se hizo con ayuda de moradores de la zona, se empleó una red de atarraya, esta herramienta permite devolver a los ejemplares de bajo peso a su hábitat (ver **Figura 13c**). en el segundo muestreo los ejemplares a ser tomados se procuró capturarlos en los mismos sitios del primer muestreo en una radio de 30 m a la redonda de las primeras muestras de referencia.

### 2.3. Medición de parámetros morfológicos



**Figura 14.** Medición de parámetros morfológicos de los ejemplares. (a) y (b) dimensión de ejemplares (c) y (d) toma de pesos sin eviscerar.

Fuente: Autora.

Una vez capturados los individuos mientras estos mueren por asfixia se procede al registro de datos morfológicos, la longitud del cuerpo (cm) desde el nivel de la boca hasta la aleta caudal y pesos de los individuos sin eviscerar (g), (**Figura 14**), los datos registrados se describen en la **Tabla 7**, el etiquetado de muestras se registró en función del punto de muestreo y el número de muestra capturada.

**Tabla 7.** Registro morfológico

Punto	Muestra	Tamaño (cm)	Peso (g)
P1	M1	13	27

	M2	17.5	58
	M3	22	115
<b>P2</b>	M1	16	39
	M2	15.5	37
<b>P3</b>	M1	16.5	52
	M2	18	52
	M3	14.5	30
	M4	15	33
<b>P4</b>	M1	20.5	79
	M2	19	69
	M3	15	32
	M4	23.5	113
<b>P5</b>	M1	17	45
	M2	14	25
	M3	22.5	118
<b>P6</b>	M1	19	68
	M2	15.5	37
	M3	20	70
	M4	26.5	186
<b>P7</b>	M1	28.5	140
	M2	19.5	36
	M3	13.5	24
<b>P8</b>	M1	15	30
	M2	15	37
	M3	17	48
	M4	16.5	40
<b>P9</b>	M1	17	38
	M2	23.5	131
	M3	17.5	134
<b>P10</b>	M1	33	321
	M2	28	159
	M3	20.5	75

El peso y tamaño de los individuos en estudio representados en esta tabla son datos registrados en campo durante el muestreo, en la parte alta de la microcuenca los tamaños y pesos de los individuos resultan ser inferiores en relación a la zona baja, la disposición de alimento y empozamiento del curso hídrico aguas abajo favorece a tener truchas de mayor peso y tamaño pero a la vez la actividad ganadera y agrícola es un condicionante importante para la presencia de estos individuos en toda la microcuenca baja del río Irquis. **Fuente:** Autora.

## 2.4. Manejo y conservación de la muestra



*Figura 15.* Eviscerado de ejemplares.  
**Fuente:** Autora.

Bajo el mismo protocolo una vez que se han registrado los datos morfológicos del individuo se procedió a limpiar a los ejemplares de trucha con agua destilada, y empleando un bisturí de acero inoxidable se eviscera al animal, el corte se efectúa desde la parte baja de la aleta pectoral hasta la parte baja de la aleta caudal, (**Figura 15**), las vísceras y el tejido muscular se guardó por separado colocándose en bolsas de polietileno de un solo uso, se etiqueto y se guardó en un Cooler para ser transportadas hasta las instalaciones universitarias (**Figura 16 a, b y Figura 17**), las muestras se congelaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta proceder a la identificación de la edad y análisis químico respectivo.





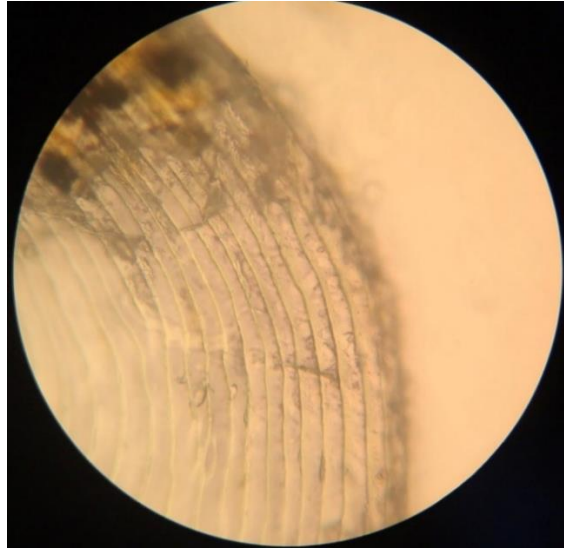
**Figura 16.** Etiquetado, (a) y (b) preparados los ejemplares se etiqueta por el número del sitio y número muestra capturada.  
**Fuente:** Autora.



**Figura 17.** Traslado de muestras.  
**Fuente:** Autora.

## 2.5. Análisis en laboratorio

### 2.5.1. Identificación de edades



**Figura 18.** Escamas de *O. Mykiss*, anillos de crecimiento visto al microscopio.

**Fuente:** Autora.

En el presente estudio se optó por determinar la edad de los individuos de trucha a través del conteo de anillos de crecimiento, cada anillo se forma por agregados de carbonato de calcio al borde de la escama, según el manual de pesca de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Holden & Raitt, 1975) cada anillo se presupone es equivalente a un año de vida (**Figura 18**).

En la Trucha arco iris en base al estudio que reportan (Bermeo & Celleri, 2016), se cita argumentando que el tamaño es bastante pequeño y los anillos de crecimiento que se presentan al ser numerosos y estrechos se diferenciaran entre finos y marcados, los anillos finos se pueden interpretar como meses hasta semanas de vida. De igual forma en el presente estudio se asumirá la edad de los individuos en años de vida, (**Tabla 8**).

**Tabla 8. Registro de Edad**

<b>Punto</b>	<b>Muestra</b>	<b>Edad (años)</b>
P1	M1	0,2
	M2	0,6
	M3	0,5
P2	M1	0,3
	M2	0,6
P3	M1	0,4
	M2	0,4
	M3	0,3
	M4	0,5
P4	M1	0,3
	M2	0,5
	M3	0,4
	M4	0,4
P5	M1	0,3
	M2	0,4
	M3	0,5
P6	M1	0,4
	M2	0,3
	M3	0,6
	M4	0,6
P7	M1	0,4
	M2	0,5
	M3	0,5
P8	M1	0,4
	M2	0,6
	M3	0,5
	M4	0,4
P9	M1	0,3
	M2	1,0
	M3	0,4
P10	M1	1,2
	M2	0,8
	M3	1,1

Las escamas de la trucha por cada individuo fueron tomadas en portaobjetos y sometidas al microscopio, de todas las edades registradas solo tres individuos registran una edad superior al año de vida. **Fuente:** Autora.

### 2.5.2. Análisis del tejido

Para el respectivo análisis de musculatura de trucha arco iris se empleó dos métodos: Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP/MS) y Espectrometría de Emisión Óptica Acoplado al plasma inductivamente, el material de laboratorio empleado ver (Anexo 5).

### 2.5.3. Preparación de muestras



*Figura 19.* Preparación de las muestras de músculo.

**Fuente:** Autora.

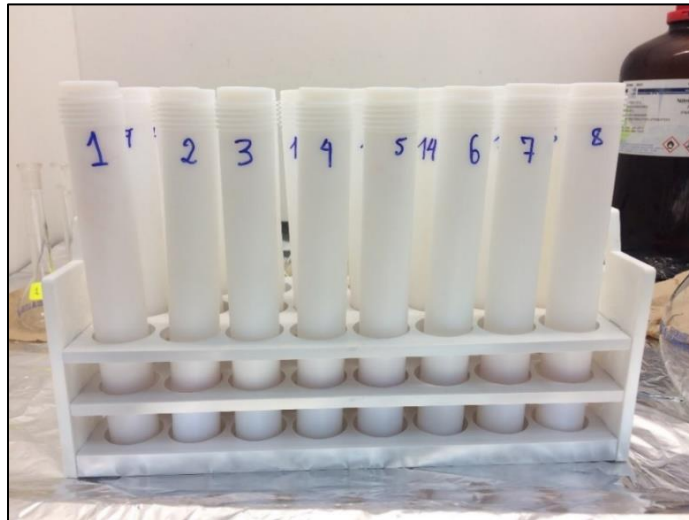
En laboratorio el tejido muestral se lavó con agua Milli-Q, luego empleando un bisturí #23 se diseccionó a la altura de la aleta pectoral separando cuidadosamente la piel y el musculo, cada muestra se procedió a guardar en fundas de polietileno de un solo uso **Figura 19)**

### 2.5.4. Predigestión

Una vez separadas las muestras en peso húmedo se pesaron muy cercanas a los 2 gramos, luego se introdujeron en tubos de teflón del microondas digestor respectivamente etiquetados, predigestando durante 15 min con 10 ml de Ácido Nítrico por cada muestra (**Figura 20**).



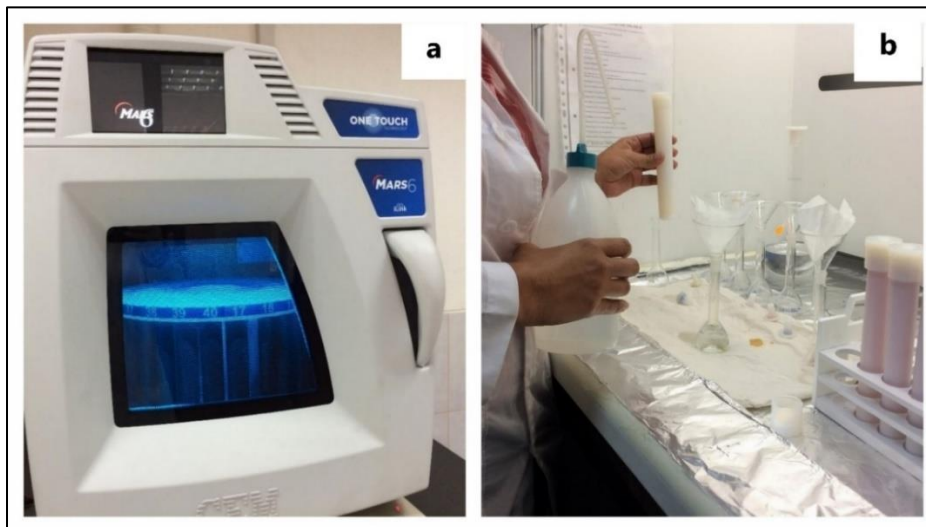
Adicionalmente se predigestan tres blancos, los dos primeros corresponden al papel filtro utilizado en la filtración de las muestras y el tercero al ácido nítrico empleado en la digestión.



**Figura 20.** Predigestión de muestras y blancos en tubos de teflón correspondientes al digestor de microondas.

**Fuente:** Autora.

### 2.5.5. Digestión



**Figura 21.** Proceso de digestión en la primera imagen, en la otra imagen las muestras digeridas son filtradas y aforadas en balones de aforo de 50 y 100 ml.

**Fuente:** Autora.

Las muestras predigestadas se introducen en el digestor de microondas durante una hora, al finalizar el procedimiento se deja enfriar durante 15 min para luego levantar las tapas de los tubos, filtrar y aforar en balones de 50 y 100 ml enrasando con ácido nítrico al 2 % (**Figura 21**).

## 2.6. Lectura de muestras

La lectura de mercurio, aluminio y plomo en 33 muestras de tejido muscular se efectuaron a través de dos métodos de análisis elemental, 12 muestras se leyeron a través de Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP/MS) en laboratorio certificado en la ciudad de Quito, para las 21 muestras restantes se empleó Espectrometría de emisión atómica acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES) en las instalaciones de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (**Figura 22**), en el estudio también se corrieron dos curvas de calibración asociando el mercurio y plomo, para luego llevar a cabo las lecturas de los tres blancos y las muestras.



**Figura 22.** Corrida de muestras en Espectrómetro Emisión Óptica Acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES).

**Fuente:** Autora.

### 2.6.1. Curvas de calibración

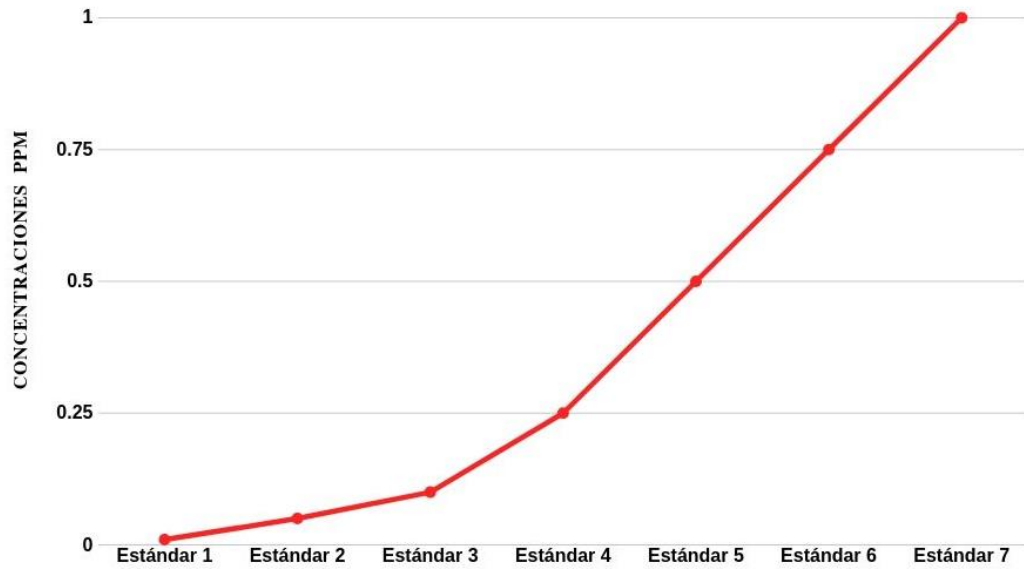
A fin de que los resultados que se obtengan de las muestras de musculatura de trucha sean confiables y sobre todo coherentes se realiza previamente la respectiva calibración del equipo poniendo a correr los patrones de los tres elementos metálicos de interés (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** *Curva de calibración de patrones*

N°	Hg y Pb	Al
STD 1 (madre)	1 ppm	100 ppm
STD 2	1.1. ppm	1 ppm
STD 3	0.05 ppm	5 ppm
STD 4	0.1 ppm	10 ppm
STD 5	0.25 ppm	25 ppm
STD 6	0.5 ppm	50 ppm
STD 7	0.75 ppm	75 ppm

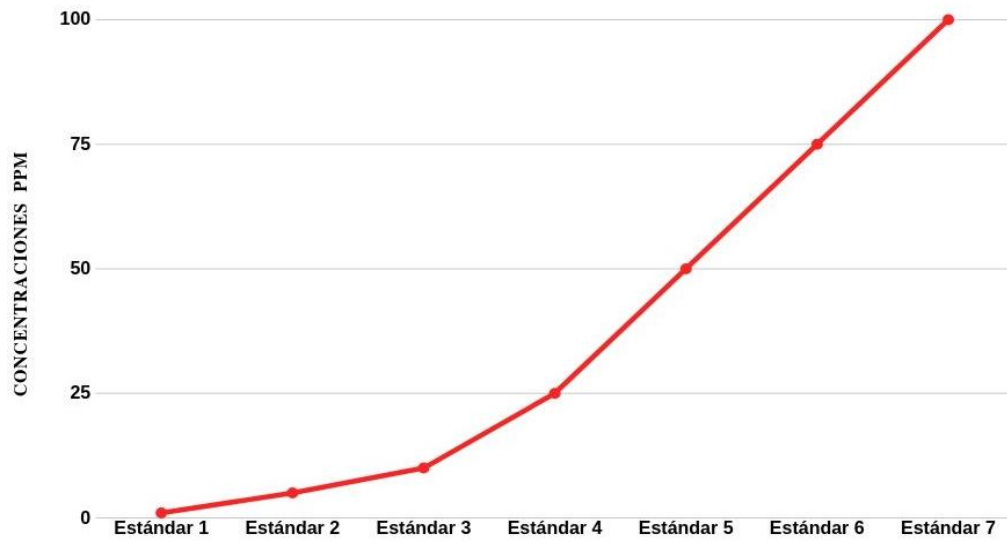
La primera curva de calibración que se corrió se hizo para el Hg y Pb debido a que las concentraciones de estos elementos tanto en el agua como en los resultados del laboratorio certificado son muy parecidos y se hallan por debajo de 1 ppm (Figura 23), por el contrario, el aluminio tuvo que correrse en una sola curva donde su concentración se halle menor a los 100ppm (Figura 24). **Fuente:** Autora.

**Curva de Calibración para Mercurio y Plomo**



*Figura 23.* Curva de calibración para mercurio y plomo.  
**Fuente:** Autora.

**Curva de calibración para Aluminio**



*Figura 24.* Curva de calibración para Aluminio.  
**Fuente:** Autora.

## 2.6.2. Aseguramiento y control de calidad

Garantizando la fiabilidad de los resultados se realizó un estricto aseguramiento y control de calidad, para eso se efectuó tres blancos a fin de determinar si el papel filtro y el reactivo (HNO<sub>3</sub>) presentaba trazas de metales pesados que puedan estar incorporándose a las concentraciones que se presente en las muestras de interés, en los dos primeros blancos se digestan dos papeles filtro y en el tercer blanco 10 ml de HNO<sub>3</sub>.

A la vez se ponen a correr tres controles de calidad previendo que este bien calibrado y en pleno funcionamiento, en el primer control QC1 se pone a leer una muestra conocida de 15 ppm y el porcentaje de recuperación de las mismas resulta ser satisfactorio, el QC2 para el Aluminio 1 ug / ml (ppm) ocupando una solución de multielemento lote 49-134CR, y finalmente el tercer QC3 para el Plomo y Mercurio intencionalmente se contamina una muestra de agua de grifo con concentraciones de 0.2 ppm para Pb y Hg, y 20 ppm para Al, ver (Tabla 10).

**Tabla 10.** *Controles de Calidad para Al, Hg y Pb*

	<b>Pb</b>	<b>Hg</b>	<b>Al</b>
<b>QC1 (ppm)</b>	0,15485181	0,15724005	15,2013137
<b>% recuperación</b>	103.2%	104.8%	101,30%
<b>QC2 (ppm)</b>	--	--	0,97582178
<b>QC3 (ppm)</b>	0,20665599	0,2006904	20,3896711

**Fuente:** Autora.

## 2.7. Análisis estadístico

En el análisis estadístico del presente estudio se empleó el paquete “*Statistical Package for the Social Sciences*” versión no. 18 (SPSS, Chicago, IBM), en el estudio los resultados obtenidos se sujetaron a un análisis estadístico descriptivo básico y una correlación de Pearson entre el elemento metálico y el tamaño y peso del individuo.

### - Coeficiente de correlación de Pearson

$$r_{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n S_x S_y}$$

**$x_i$  e  $y_i$** : puntuaciones diferenciales de cada par

**$n$** : número de casos

**$S_x$  y  $S_y$** : desviaciones típicas de cada variable

La medida más utilizada comúnmente en la correlación entre variables cuantitativas es el coeficiente de Pearson (1896); se suele representar por  $r$  y se obtiene tipificando el promedio de los productos de las puntuaciones diferenciales de cada caso (desviaciones de la media) en las dos variables que se pretende correlacionar.

El coeficiente  $r$  de correlación para concluir la relación entre variables debe tomar en consideración la tabla guía (**Tabla 11**).

**Tabla 11.** Rangos de correlación entre variables

<b>Rango</b>	<b>Relación</b>
<b>-0.91 a -1.00</b>	Correlación negativa perfecta
<b>-0.76 a -0.90</b>	Correlación negativa muy fuerte
<b>-0.51 a -0.75</b>	Correlación negativa considerable
<b>-0.11 a -0.50</b>	Correlación negativa media

<b>-0.01 a -0.10</b>	Correlación negativa débil
<b>0</b>	<b>No existe correlación</b>
<b>+0.01 a +0.10</b>	Correlación positiva débil
<b>+0.11 a +0.50</b>	Correlación positiva media
<b>+0.51 a +0.75</b>	Correlación positiva considerable
<b>+0.76 a +0.90</b>	Correlación positiva muy fuerte
<b>+0.91 a +1.00</b>	Correlación positiva perfecta

Fuente: ( Hernández S & Fernández C, 1998).

En este contexto el valor p de significación del valor de “r” es indispensable analizar también el valor de “p” que lo acompaña; puesto que si el valor de p es menor que 0.05, se puede concluir que la correlación es significativa, lo que indica una relación real, no debida al azar. Pero si se tiene un valor p mayor a 0,05 resulta una relación no significativa estadísticamente.

## 2.8. Índice de contaminación

El índice de contaminación del metal permite relacionar las concentraciones globales de los metales que se presentan en los peces, (Masoud et al., 2007) sustenta el cálculo del MPI sujetándose a los postulados que sostiene (Usero, Morillo, & Gracia, 2005), presentando la siguiente fórmula para el cálculo.

$$MPI = (M1 \times M2 \times M3 \times \dots \times Mn)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

**M:** concentración del elemento metálico en el tejido u órgano del individuo; **n:** número de individuos.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Parámetros morfológicos básicos

De los 33 ejemplares de trucha arco iris capturados para el presente estudio, 12 muestras de referencia y 21 de cotejo han dado como resultado un registro en campo de datos morfológicos básicos tamaño y peso, a la vez un registro de edades efectuadas en laboratorio.

De los ejemplares de trucha la longitud máxima es de 33 cm con un mínimo de 13 cm (con  $\bar{x} = 18,41$  y  $\sigma = 5,17$ ), en cuanto al peso 321 gramos es el máximo registrado con 24 gramos peso mínimo (con  $\bar{x} = 75,7$  y  $\sigma = 62,1$ ). Las edades se suscitan con un máximo de 1.1 años y mínimo de 0.2 años (con  $\bar{x} = 0,5$  y  $\sigma = 0,23$ ), (**Tabla 12**).

**Tabla 12.** Medidas de dispersión, estadística descriptiva

	<b>Longitud</b>	<b>Peso</b>	<b>Edad</b>
<b>Max</b>	33	321	1,19
<b>Min</b>	13	24	0,2
<b>Media</b>	18,41	75,7	0,5
<b>DE</b>	5,172	62,1	0,23

Los datos registrados de la morfología animal son concluyentes con máximo de longitud de 33 cm, peso 321 g, edad de 1,19 años y mínimo en tamaño de 13 cm, 24 g, y dos meses. **Fuente:** Autora.



### 3.2. Resultados de laboratorio, lectura de tejido muscular de trucha arcoíris empleando Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP/MS)

Tabla 13. Resultados de laboratorio certificado empleando (ICP/MS)

Punto	Muestra	Al	Pb	Hg
P1	M1	< 100	< 0.1	0.2
P2	M1	< 100	< 0.1	0.2
P3	M1	<100	<0.1	<0.1
P4	M1	<100	<0.1	<0.1
	M2	<100	<0.1	<0.1
P5	M1	<101	<0.1	<0.1
P6	M1	<100	<0.1	<0.1
	M2	<100	<0.1	<0.1
P7	M1	<100	<0.1	0.2
P8	M1	<100	<0.1	<0.1
P9	M1	<100	< 0.1	0.2
P10	M1	<100	<0.1	0.1

En el análisis cuantitativo de Al, Hg y Pb empleando (ICP/MS) los límites de detección del equipo (Al: 100mg/kg, Hg y Pb: 0.1 mg/kg) eran el limitante para conocer con exactitud las concentraciones de los elementos de interés, el aluminio no se detecta por encima de los 100 ppm en ninguno de los puntos de muestreo, de igual manera el plomo no se detecta por debajo de los 0.1 ppm mucho menos por encima de este, que por el contrario el mercurio presenta concentraciones de 0.2ppm en los primeros puntos de muestreo, siendo estos localizados muy cerca de la zona mineralizada del proyecto. **Fuente:** Reporte de análisis de trucha. **Elaborado por:** Autora.

### 3.3. Resultados de laboratorio, lectura de tejido muscular de trucha arcoíris empleando Espectrometría de emisión atómica acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES)

Tabla 14. Resultados de laboratorio en la UPS, empleando (ICP/OES)

Punto	Muestra	Al	Pb	Hg
<b>P1</b>	M2	1,45	0,047	0,587
	M3	1,22	0,038	0,518
<b>P2</b>	M2	1,83	0,238	0,15
<b>P3</b>	M2	1,76	<0.01	0,184
	M3	1,65	<0.01	0,414
	M4	1,69	<0.01	0,173
<b>P4</b>	M3	1,79	<0.01	0,213
	M4	1,57	0,022	0,178
<b>P5</b>	M2	1,71	<0.01	0,105
	M3	1,20	0,466	0,038
<b>P6</b>	M3	2,27	0,091	0,045
	M4	0,45	0,154	0,097
<b>P7</b>	M2	1,23	0,027	0,049
	M3	1,29	<0.01	0,043
<b>P8</b>	M2	1,76	0,06	0,062
	M3	<1	<0.01	0,082
	M4	2,16	<0.01	0,074
<b>P9</b>	M2	<1	<0.1	0,141
	M3	2,32	<0.01	0,071
<b>P10</b>	M2	1,25	<0.01	0,208
	M3	0,38	<0.01	0,042

De las 33 muestras las 21 muestras empleadas en el equipo de (ICP/OES) tienen una muy buena correlación en referencia a las muestras corridas en laboratorio certificado, el equipo empleado permite leer concentraciones en ug/kg, de los tres elementos el aluminio es el que mayores concentraciones presenta en todos los puntos de muestreo, para el caso del plomo en ciertos puntos no se detecta estando por debajo de los 0.01 ppm, siendo el mercurio el elemento que presenta concentraciones puntuales superando el límite de permisibilidad. **Elaborado por:** Autora.

**Tabla 15. Resultados finales**

<b>Punto</b>		<b>Muestra</b>	<b>Al</b>	<b>Pb</b>	<b>Hg</b>
<b>1</b>	<b>P1</b>	P1M1	< 100	< 0.1	0.2
<b>2</b>		P1M2	1,45	0,047	0,587
<b>3</b>		P1M3	1,22	0,038	0,518
<b>4</b>	<b>P2</b>	P2M1	< 100	< 0.1	0.2
<b>5</b>		P2M2	1,83	0,238	0,15
<b>6</b>	<b>P3</b>	P3M1	<100	<0.1	<0.1
<b>7</b>		P3M2	1,76	<0.01	0,184
<b>8</b>		P3M3	1,65	<0.01	0,414
<b>9</b>		P3M4	1,69	<0.01	0,173
<b>10</b>	<b>P4</b>	P4M1	<100	<0.1	<0.1
<b>11</b>		P4M2	<100	<0.1	<0.1
<b>12</b>		P4M3	1,79	<0.01	0,213
<b>13</b>		P4M4	1,57	0,022	0,178
<b>14</b>	<b>P5</b>	P5M1	<101	<0.1	<0.1
<b>15</b>		P5M2	1,71	<0.01	0,105
<b>16</b>		P5M3	1,20	0,466	0,038
<b>17</b>	<b>P6</b>	P6M1	<100	<0.1	<0.1
<b>18</b>		P6M2	<100	<0.1	<0.1
<b>19</b>		P6M3	2,27	0,091	0,045
<b>20</b>		P6M4	0,45	0,154	0,097
<b>21</b>	<b>P7</b>	P7M1	<100	<0.1	0.2
<b>22</b>		P7M2	1,23	0,027	0,049
<b>23</b>		P7M3	1,29	<0.01	0,043
<b>24</b>	<b>P8</b>	P8M1	<100	<0.1	<0.1
<b>25</b>		P8M2	1,76	0,06	0,062
<b>26</b>		P8M3	<1	<0.01	0,082
<b>27</b>		P8M4	2,16	<0.01	0,074
<b>28</b>	<b>P9</b>	P9M1	<100	< 0.1	0.2
<b>29</b>		P9M2	<1	<0.1	0,141
<b>30</b>		P9M3	2,32	<0.01	0,071
<b>31</b>	<b>P10</b>	P10M1	<100	<0.1	0.1
<b>32</b>		P10M2	1,25	<0.01	0,208
<b>33</b>		P10M3	0,38	<0.01	0,042

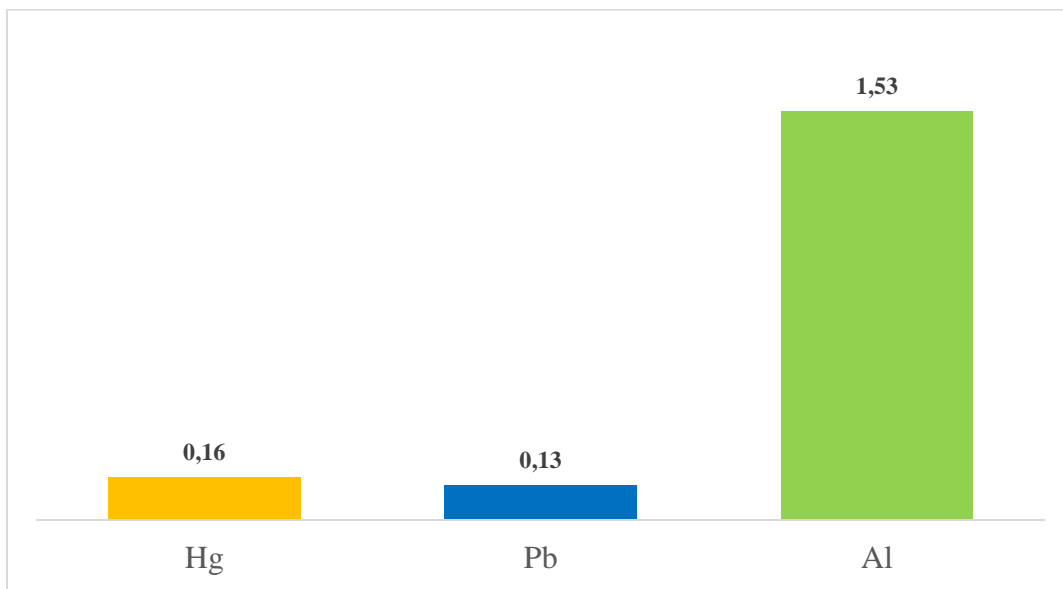
Elaborado por: Autora.

En toda la microcuenca en los 10 puntos de muestreo y en las 33 muestras de trucha arcoíris la concentración promedio de mercurio es de 0,16 ppm con una desviación estándar de 0,15 ppm, plomo 0,13 ppm y desviación estándar de 0,14 ppm y aluminio 1,53 ppm con desviación estándar de 0,51 ppm, (Tabla 16, Figura 25).

**Tabla 16.** Media y desviación estándar de Hg, Pb y Al en la microcuenca del Irquis

	<b>Media</b>	<b>DE</b>
<b>Hg</b>	0,16	0,15
<b>Pb</b>	0,13	0,14
<b>Al</b>	1,53	0,51

Fuente: Autora.



**Figura 25.** Promedio de concentraciones elementos metálicos Hg, Pb y Al en la microcuenca del Irquis.

Fuente: Autora.

### 3.4. Coeficiente de correlación de Pearson

Con la información disponible de registro de tamaño, peso y edad se procede a efectuar un análisis de correlación de variables, el sistema de procesamiento estadístico evade valores y los considera como perdidos tanto para el aluminio como para el plomo siendo posible efectuar la correlación con los resultados del mercurio.

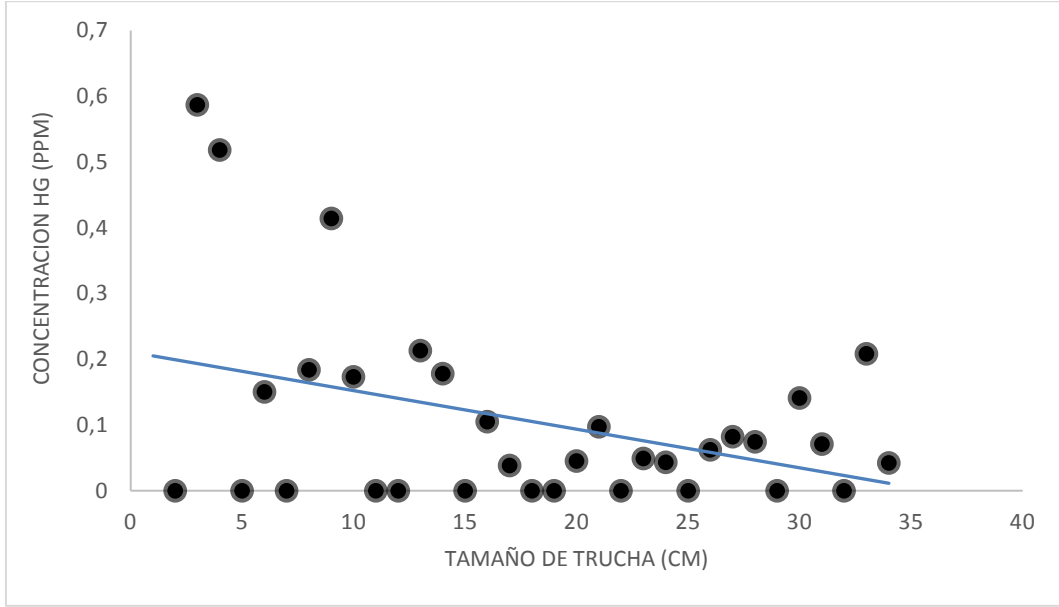
Según la **Tabla 17**, el mercurio en el tejido muscular de la trucha en relación al tamaño, peso y edad de los individuos presenta una correlación negativa media, es decir el mercurio en el tejido muscular de *O. Mykiss* no es fuerte por lo cual no hay una relación directa entre estas dos variables, a la vez se presenta este mismo resultado para el peso y edad del individuo **Figura 26, 27 y 28**.

**Tabla 17.** Resultados de correlación entre tamaño, peso, edad con las concentraciones de Hg

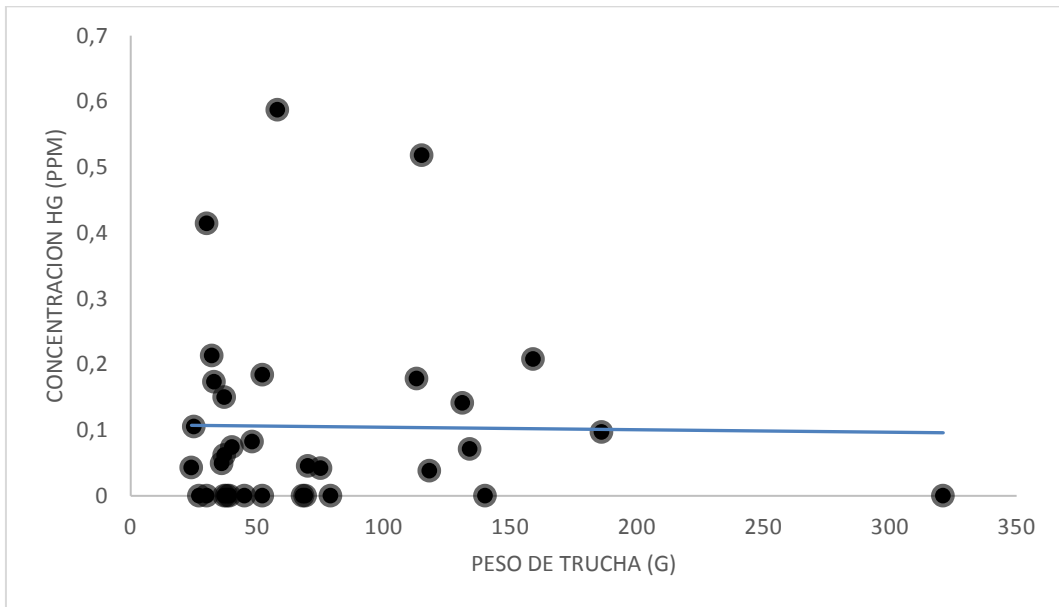
<b>Correlaciones</b>			
<b>Mercurio (Hg)</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Peso</b>	<b>Edad</b>
<b>Correlación de Pearson</b>	-0,013	-0,027	-0,114
<b>Sig. (bilateral)</b>	0,944	0,881	0,083*
<b>N</b>	33	33	33

**\* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).**

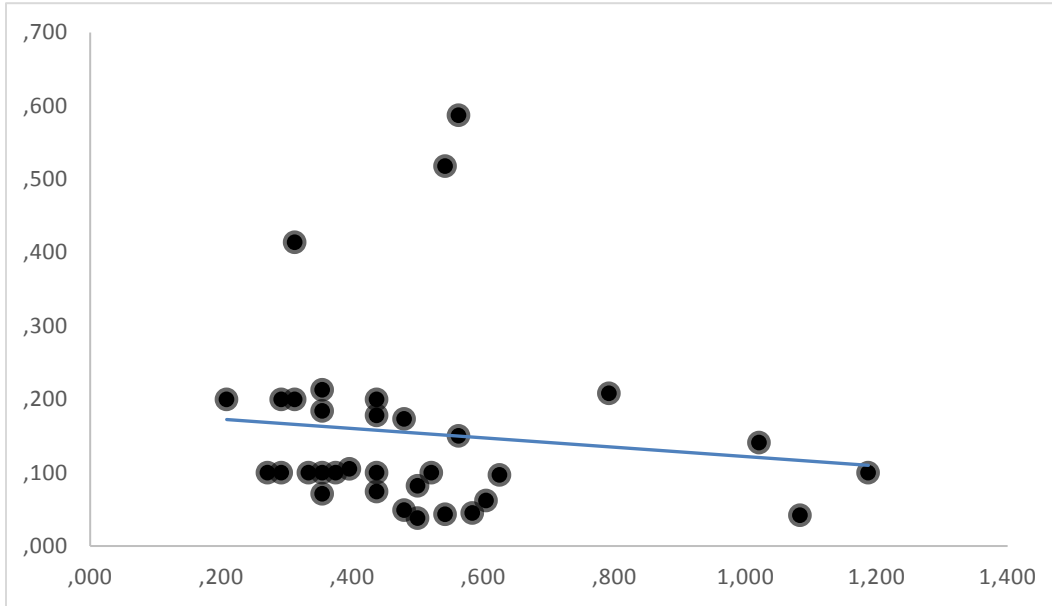
Elaborado por: Autora.



**Figura 26.** Correlación Hg-tamaño de trucha, la dispersión de datos es fuertemente negativa, muy cercana a la inexistencia de correlación.  
**Fuente:** Autora.



**Figura 27.** Correlación Hg-peso de trucha, la dispersión de datos es fuertemente negativa.  
**Fuente:** Autora.



**Figura 28.** Correlación Hg-edad de trucha, dispersión negativa fuerte de las dos variables relacionadas.  
**Fuente:** Autora.

En la correlación de variables el nivel de significancia  $p$  de la correlación  $r$  es indispensable analizar puesto que si el valor de  $p$  es  $< 0.05$  la relación es real significativa y no al azar, caso contrario si  $p$  es  $> 0.05$  la relación resulta ser no significativa estadísticamente. En este contexto la significancia individual de la concentración de Hg con el tamaño y peso son estadísticamente no significativas ya que son mayores a 0.05, sin embargo, si considerásemos un nivel de significancia de 0.1 entre el mercurio y la edad de los individuos la relación resulta ser significativa.

### **3.5. Índice de contaminación (MPI)**

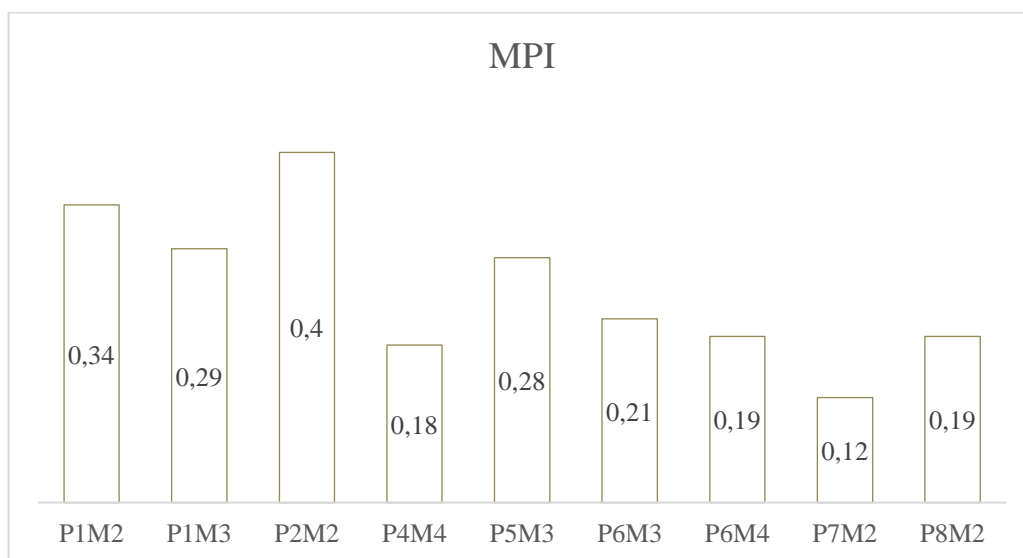
Para el presente apartado se empleó la metodología de cálculo y valoración de (Masoud et al., 2007), los valores que se obtienen del índice de contaminación así llamado permiten comparar el contenido global del metal en el tejido de análisis, el MPI obtenido es diferenciable en todos los puntos de muestreos distribuidos en la microcuenca, el índice se presenta alto en los puntos P1, P2, P5 y P6 y moderado en P4, P7 y P8 (**Tabla 18**).

**Tabla 18.** Índice de contaminación metálica en tejido de trucha arcoíris del río Irquis

Muestra	Al	Pb	Hg	MPI
P1M2	1,45	0,047	0,587	0,34
P1M3	1,22	0,038	0,518	0,29
P2M2	1,83	0,238	0,15	0,40
P4M4	1,57	0,022	0,178	0,18
P5M3	1,20	0,466	0,038	0,28
P6M3	2,27	0,091	0,045	0,21
P6M4	0,45	0,154	0,097	0,19
P7M2	1,23	0,027	0,049	0,12
P8M2	1,76	0,06	0,062	0,19

Considerando los datos puntuales del análisis solo 9 muestras en toda la microcuenca son aptas para efectuar la valoración del índice de contaminación del metal esto debido a que los datos reportados no se detectan y se hallan por debajo de la curva de calibración, el índice de contaminación valorado globalmente en el presente estudio define variaciones altas de la carga metálica en toda la microcuenca. **Elaborado por:** Autora.

En la **Figura 29** se muestran los índices del contenido metálico en musculo de trucha, desde el primer punto de muestreo hasta la desembocadura de la microcuenca el contenido de los tres metales en estudio no se observa una disminución del MPI.



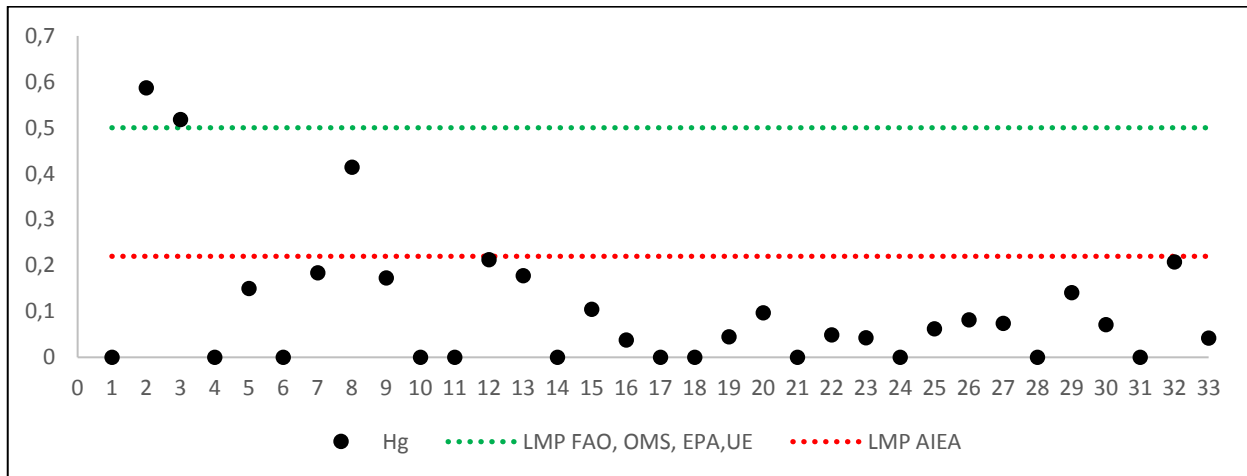
**Figura 29.** Índice de contenido metálico para el tejido muscular de la trucha arcoíris. **Elaborado por:** Autora.



### 3.6. Comparación Hg, Pb y Al en trucha y límites máximos de permisibilidad

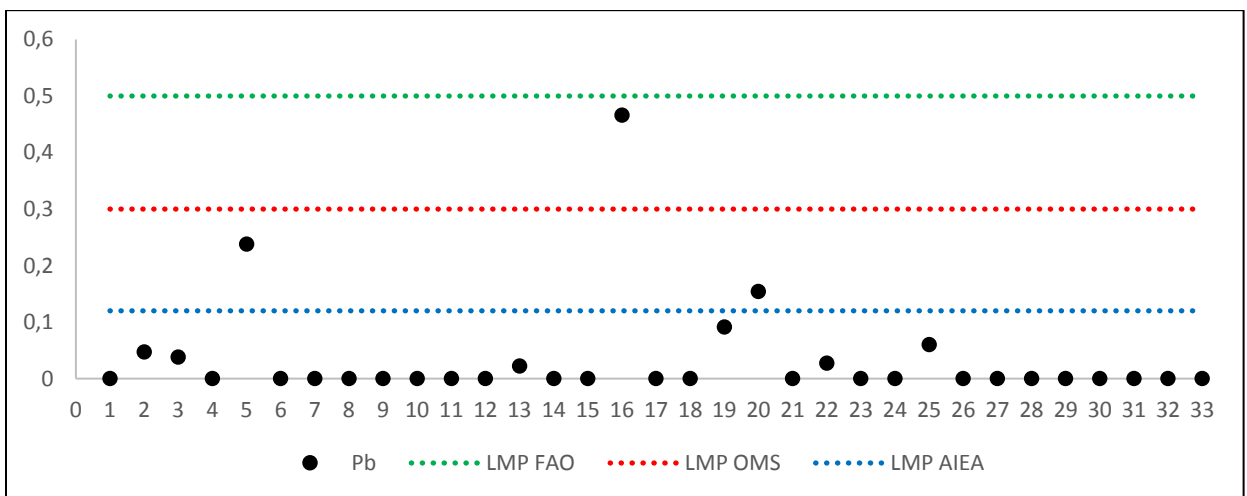
En base a los resultados, se permite poder hacer una comparación de las concentraciones de Hg, Pb y Al y los límites máximos de permisibilidad internacional.

#### - Mercurio (Hg)



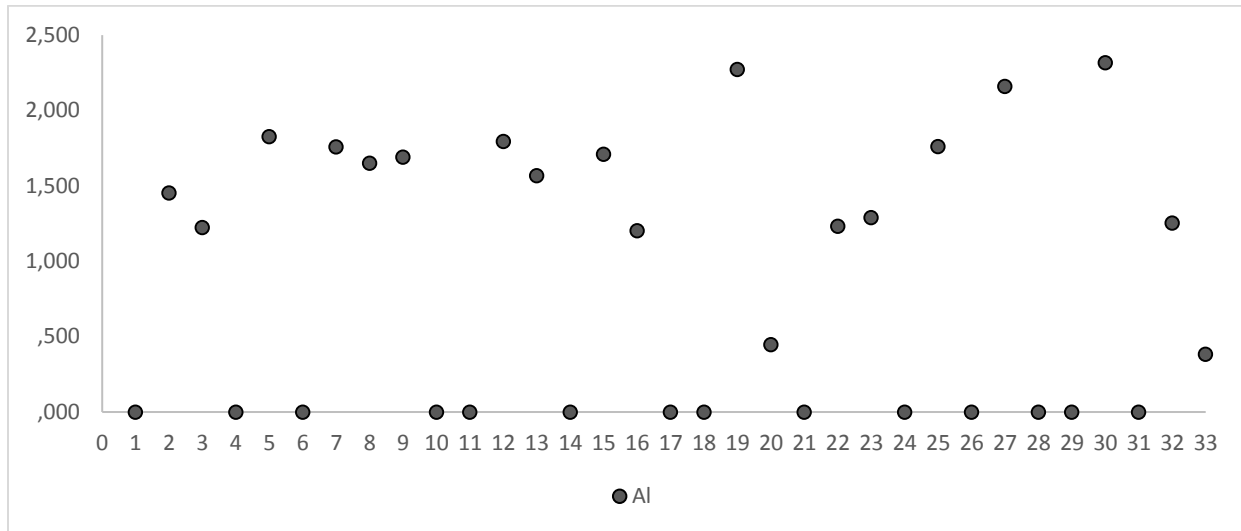
**Figura 30.** Las concentraciones de mercurio en los primeros puntos de muestreo 2 y 3 se registran por encima del límite máximo permisible de 0.5 ppm establecido por la FAO, OMS, EPA y UE. En la muestra 8, punto 3 muestra 3 la concentración supera el límite máximo permisible dado por la AIEA muy cercano al 0.5, las muestras restantes se registran por debajo de los máximos permisibles internacionales, aquellos datos no detectados se consideran en 0. **Elaborado por:** Autora.

#### - Plomo (Pb)



**Figura 31.** Las concentraciones de plomo de 24 muestras no son detectables, el equipo empleado no logra detectar por debajo de los 0.1 y 0.001 ppm, de los resultados restantes el mínimo a reportarse es de 0.022 ppm con un máximo de 0.46 ppm, el plomo no sobrepasa el máximo permisible dado por la FAO, a salida de la concesión dos datos que se registran están por encima del máximo permisible dado por la OMS y la AIEA. **Elaborado por:** Autora.

## - Aluminio (Al)



**Figura 32.** Concentraciones de Al en muestras de trucha del río Irquis se presenta un mínimo de 0,38 ppm y un máximo de 2,32 ppm, suscitándose las concentraciones más altas en la parte baja de la microcuenca, el reporte de aluminio se ha comparado con un solo máximo permisible dado por la Agencia internacional de energía atómica, si se tomase los mismos límites de permisibilidad de plomo y mercurio las concentraciones de aluminio podrían catalogarse como alarmantes para la salud. **Elaborado por:** Autora.

### 3.7. DISCUSION

Las concentraciones de elementos metálicos en tejido vivo animal es un tema que escasea de investigación en toda latinoamérica, en China, Europa y Estados Unidos la importancia de investigar estos elementos empleando organismos vivos de los ecosistemas de interés ha permitido evaluar el estado de conservación del ecosistema sea este terrestre o acuático. Se podría decir que uno de los mayores antecedentes de contaminación ambiental por metales pesados es el caso de Minamata (Japón) entre los años de 1932 y 1968, tragedia que dio como resultado la pérdida de múltiples vidas humanas y alteraciones genéticas que son de preocupación hasta nuestros días.

Pernia, Mero, & Arcos (2016) sostienen que el uso de biomonitores, bioindicadores, biomarcadores y organismos centinelas permiten ampliar la evaluación del estado de un ecosistema acuático obteniendo señales de alerta temprana ante cualquier contaminante ambiental,

permitiendo obtener según González (2014) distintas formas de respuesta ante la alteración del hábitat en el cual se hallan expuestos, es así, a fin de precautelar la integridad ecológica del recurso hídrico Romano (1999) y Velázquez & Vega (2004) consideran de importancia el monitoreo de los recursos hídricos empleando ictiofauna local.

Para efectuar la evaluación del recurso hídrico empleando peces como indicadores ambientales cabe considerar ciertos criterios de efectividad en la obtención real del estado de los ecosistemas acuáticos: Borgå et al (2012) considera al metabolismo como un criterio de aceptación del individuo puesto que ciertas especies tienden a ser más vulnerables que otras a través de la alimentación, por consiguiente en concordancia con Chovaneet et al (2003) la información que se obtiene del análisis del tejido animal permite reportar las condiciones del estado químico en cuanto a metales pesados se valora y estado de los niveles tróficos de la cadena alimentaria.

En nuestro país la normativa ambiental nacional no pone a disposición límites máximos de permisibilidad para metales pesados en tejido vivo animal, por lo que hasta el momento la regulación de estos elementos en materia ambiental se centra en la evaluación y valoración de sus concentraciones en agua y suelo. En el presente estudio se ha planteado emplear tejido muscular de trucha arcoíris como indicador ambiental de las concentraciones de Hg, Pb y Al en la microcuenca del río Irquis en la parroquia Victoria del Portete en el cantón Cuenca, el estudio presenta la captura de 33 ejemplares de trucha obteniendo una longitud máxima muestral de 33 cm con un mínimo de 13 cm, la media de la longitud es de 18,41 cm con una desviación estándar de 5,17, se registra también el peso de los individuos teniendo un máximo de 321 gramos y un mínimo de 24 gramos, la media muestral del peso es de 75,7 con una desviación estándar de 62,1, a fin de tener datos que permitan correlacionar la morfología animal con la concentración química

metálica a través del conteo de anillos de crecimiento en escamas de los individuos se reporta edades superiores al año con un mínimo de 0,2 años cuya media muestral de las edades es de 0,5 años y una desviación estándar de 0,23.

La lectura del tejido muscular en las 33 muestras data un promedio de 0,16 ppm de Hg, 0,13 ppm de Pb y 1.53 ppm de aluminio a lo largo de la zona alta y baja del sistema hídrico principal del río Irquis. A través de una correlación de variables (correlación de Pearson), los resultados de plomo y aluminio se descartan debido a que el sistema de procesamiento estadístico evade datos que no son detectables en el equipo donde se analizaron las muestras, es así que con el mercurio se efectuó esta correlación, siendo esta de tipo negativa donde la relación entre las variables no es fuerte entre Hg-tamaño, Hg-peso y Hg-edad, de esta manera los elementos hallados en el tejido muscular en base a la relación entre la concentración metálica y la morfología animal permite dar a conocer la existencia de un proceso de bioacumulación natural nada agresivo ya que las concentraciones no son atípicas en el tejido.

Por tanto la bioacumulación metálica que se suscita en individuos de trucha arco iris en la zona del Irquis de acuerdo con Bermeo & Celleri (2016) está condicionada a distintos factores ambientales naturales de tipo geológico predisponiendo al individuo a entrar en contacto con un elemento metálico como es el Hg, Pb y Al, además a fin de poder esclarecer el panorama del presente estudio de forma global se permitió calcular el índice de contaminación metálico (MPI) de los elementos en los ejemplares, en términos generales el MPI de registro permite observar que no se presenta un descenso del contenido metálico en la musculatura del pez sino que se diversifica en todas las muestras.

Comparando las concentraciones de Hg, Pb y Al en relación a los límites máximos de permisibilidad internacional ha sido posible identificar concentraciones cercanas, por encima y muy por debajo al límite máximo permisible para cada elemento, para el mercurio las muestras registradas en la zona alta cercana al depósito mineral del proyecto minero Loma Larga se disparan por encima de los 0.5 ppm dado por la FAO, OMS, EPA y UE, siguiendo el curso hídrico a la altura de la Bocatoma de agua se registra una concentración por encima de los 0,2 ppm dados por la Agencia internacional de energía atómica (AIEA), para el resto de muestras las concentraciones se hallan muy por debajo de los dos límites máximos permisibles referenciales.

Para el plomo, de las 33 muestra de tejido en 24 de ellas no se detectan este elemento, teniendo a la salida de la concesión parte alta de la microcuenca media del Irquis dos reportes superiores a los 0,12 ppm dados por la AIEA y uno solo cercano a los 0.5 ppm dado por la FAO y por encima de los 0.3 ppm dados por la OMS, los 6 registros restantes están muy por debajo al límite de permisibilidad dado por la AIEA. Por otro lado, el aluminio internacionalmente no presenta un límite máximo permisible para pescado por lo que para el presente estudio se ha tomado un único límite presentado por la AIEA de 13,8 ppm, se registra en todas las muestras valores inferiores al límite antes mencionado, si considerásemos los límites determinados para Hg y Pb las concentraciones de aluminio se disparan atípicamente. En fin de forma general la distribución de los metales en musculatura de trucha se distribuye  $Al > Hg > Pb$ .

En este contexto y por lo expuesto es bien sabido que ciertas actividades de extracción como la minería puede comprometer el equilibrio ecológico del recurso hídrico incrementando las concentraciones de elementos naturales como el mercurio si las tecnologías de tratamiento no son las adecuadas en el proceso productivo (Brooks et al., 1968), es así que los reportes de metales

como Hg, Pb y Al en agua, suelo y trucha en la microcuenca del río Irquis pone en cuestionamiento el origen de estos elementos, si ponemos a consideración la presencia de un proyecto minero como Loma Larga en la zona de estudio es de importancia considerar la etapa en la que se encuentra dicho proyecto, debido al conflicto social que se presenta en el Azuay en materia ambiental minera el proyecto Loma Larga se halla en etapa de exploración avanzada por lo que si consideramos los reportes de metales como el Hg no se puede afirmar un problema de contaminación ambiental por actividad minera en la zona, por lo que es justificable que las concentraciones de elementos metálicos en, agua suelo y peces no es más que un proceso natural de la dinámica de los metales que se hallan depositados geológicamente en la microcuenca del Irquis.

#### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

En fin, en el presente estudio existe un proceso de bioacumulación de Hg, Al y Pb en tejido de la trucha arco iris *O. Mykiss*, reportándose en más de la mitad de las muestras de tejido animal trazas metálicas muy por debajo de los límites de permisibilidad internacional empleados en el estudio. La correlación de variables efectuada permite inferir entre los registros de tamaño, peso y edad de los individuos y la concentración de Hg reportada, siendo negativa la correlación de estas variables y estadísticamente no significativas, es decir la presencia de Hg en la trucha no está vinculada directamente al tamaño, peso y edad del individuo; con respecto al Pb y Al las correlación de Pearson no se ha efectuado ya que en la mayoría de las muestras analizadas no se ha logrado detectar el contenido metálico, en la microcuenca ejemplares con tamaños superiores a los 33 cm, pesos de 300 gramos y edades de 1 año reportan trazas metálicas de 0.2 ppm muy por debajo al límite máximo permisible, por el contrario para la misma concentración se encuentran truchas de 15 cm, con pesos de 32 gramos y edades de 4 meses. Por lo tanto, visto así factores

como la alimentación pueden estar condicionado la disponibilidad y abundancia de los metales en el tejido de los organismos acuáticos de la zona.

### **Recomendaciones**

- A partir del reporte de Hg efectuado en el presente estudio, se recomienda de forma prioritaria efectuar un análisis posterior de metilmercurio en trucha, para asegurar que dicho elemento no pueda estar causando estragos irreversibles en el futuro.
- Se recomienda efectuar investigaciones futuras en la microcuenca del Irquis que empleen trucha arco iris para la cuantificación de otros elementos reportados en el monitoreo de agua como el Fe.
- Definir la cuantificación de metales pesados en tejido vivo animal por épocas, dando preferencia a la época de estiaje debido a que la dinámica de los elementos metálicos en los individuos es mucho más activa que en invierno.
- Efectuar el mismo análisis cuantitativo en otros tejidos como branquias, hígado, y piel para permitir evaluar y comparar el nivel de almacenamiento y secuestro de los órganos de la trucha.
- Tomar muestras en la microcuenca media cuyas características topográficas dan lugar a empozamientos de agua que puedan estar permitiendo mayores concentraciones de metales pesados en trucha.
- Los costos en materiales, equipos y reactivos resultan ser costosos por lo que sería favorable que las entidades gubernamentales de educación prioricen este tipo de estudios inyectando presupuesto en la adquisición de materiales para la investigación.
- En la normativa ambiental nacional debería de incluirse límites de permisibilidad de metales pesados y otros contaminantes en tejido vivo animal, priorizando alimentos de la canasta familiar.

## 5. Glosario de términos

**Bioacumulación:** acumulación de contaminantes, contaminantes y/o sus metabolitos en tejidos animales o vegetales a lo largo de un período de tiempo que normalmente representa el grado de exposición del individuo al elemento químico, especie o compuesto presente en el medio ambiente donde vive (Bortone, 2016).

**Biodisponibilidad:** Una propiedad ecológica presentada por elementos químicos y compuestos en el medio ambiente (agentes químicos) que determina si serán más, o menos, eficientemente asimilados por la biota que entra en contacto (se expone a) con ellos (Bortone, 2016).

**Bioindicadores:** atributos biológicos o caracteres de estuarina asociada organismos que se evalúan objetiva o subjetivamente para evaluar las condiciones, el estado o las tendencias en el entorno estuarina (Bortone, 2016).

**Biomagnificación:** es el proceso en el que los compuestos químicos se transfieren de los alimentos a un organismo, lo que resulta en concentraciones más altas en comparación con la fuente. Se produce cuando un elemento químico o compuesto (agente químico) presenta concentraciones más altas en los tejidos de los organismos a medida que ocupan niveles más altos en la red trófica (Bortone, 2016).

**Biotransformación:** La conversión de moléculas de una forma a otra dentro de un organismo, a menudo asociada con un cambio (aumento, disminución poco cambio) (Beiras, 2018).

**Bioconcentración:** La bioconcentración corresponde a la tendencia según la cual una sustancia específica está más concentrada en el seno de un organismo vivo que en su entorno. Así, hablaremos de bioconcentración cuando la captación de elementos contaminantes pinchados en un medio es mayor al proceso natural de eliminación (Kumari et al., 2017).



**Cuenca:** Una cuenca hidrográfica es un área de tierra que drena en un arroyo, río, lago o humedal determinado, de forma y tamaño variable, no tiene fronteras nacionales o estatales (Bortone, 2016).

**Digestión:** en química se dice digestión ácida y básica cuando la materia orgánica es sometida a acciones de ácidos fuertes para reducirlos a su composición elemental o por lo menos en sustancias más simples (Hu & Qi, 2014).

**Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP/MS):** es una técnica empleada en el análisis de elementos traza (Todolí, 2019), técnicamente se fundamenta en combinar el plasma de radiofrecuencia de alta energía con espectrómetros de masas para producir analizadores isotópicos y elementales (Brenner, 2017).

**Espectrómetro Emisión Óptica Acoplado al plasma inductivamente (ICP/OES):** se sustenta en una fuente espectro química, y funciona volatizando, atomizando la muestra de interés obteniendo átomos libres y finalmente excitando dichos átomos (Fernández-Sánchez, 2019), el campo de aplicación de esta técnica para el análisis cuantitativo comenzó a difundirse desde los años 70, el equipo es el más generalizado y se emplea para su funcionamiento Gas Argón (Sanchez, Luxan, & Frias, 1986).

## **6. Abreviaturas utilizadas**

**AIEA:** Agencia Internacional de energía atómica

**EPA:** Agencia de protección ambiental de los EEUU

**ENAMI EP:** Empresa nacional minera, empresa pública

**ICP/OES:** Espectrometría de emisión óptica acoplado al plasma inductivamente

**ICP/MS:** Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**PMA:** Plan de Manejo Ambiental

**SPSS:** Statistical Package for the Social Sciences

**UE:** Unión Europea

## 7. Referencias bibliográficas

- Abel, P. D. (1996). *Water Pollution Biology* (Second). Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>
- Achterberg, E. P., Browning, T. J., Gledhill, M., & Schlosser, C. (2019). Transition Metals and Heavy Metal Speciation. In P. L. Y. J. Kirk Cochran, Henry J. Bokuniewicz (Ed.), *Encyclopedia of Ocean Sciences* (Third, Vol. 1, p. 218–227.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012374473-9.00281-2>
- Acosta, A., & Sacher, W. (2012). *La minería a gran escala en Ecuador, análisis y datos estadísticos sobre la minería industrial en el Ecuador*. (M. Báez, Ed.) (1 era). Quito: Abya-Yala.
- Adamo, P., Agrelli, D., & Zampella, M. (2018). Chemical Speciation to Assess Bioavailability, Bioaccessibility and Geochemical Forms of Potentially Toxic Metals (PTMs) in Polluted Soils. In A. L. Benedetto De Vivo, Harvey E. Belkin (Ed.), *Environmental Geochemistry* (Second Edi, pp. 153–194). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00010-0>
- Adriano, D. C., Bolan, N. S., Vangronsveld, J., & Wenzel, W. (2005). Heavy Metals. In D. Hillel (Ed.), *Encyclopedia of Soils in the Environment* (pp. 175–182). <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00196-X>.
- Ahmad, W., Najeeb, U., & Zia, M. H. (2015). Soil Contamination with Metals. In A. R. M. Khalid Rehman Hakeem, Muhammad Sabir, Münir Öztürk (Ed.), *Soil Remediation and Plants* (pp. 37–61). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-799937-1.00002-4>
- Ahumada, R., Gerli, L., Sánchez, I., & Fernández, E. (2006). Metales trazas en aguas costeras y organismos de canales y fiordos australes. *Avances En El Conocimiento Oceanográfico de Las Aguas Inferiores Chilenas, Puerto Montt a Cabo de Hornos*, 45–49.
- Amat, I. P. D., Pierra, C. A., Casals, B. I., & Vázquez, A. D. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba. *Revista de La Sociedad Química de México*, 46, 357–361.
- Andrasson, M., & Dave, G. (1995). Transfer of heavy metals from sediment to fish , and their biliary excretion. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 4, 221–230.
- Appenroth, K. (2010). Definition of “Heavy Metals” and Their Role in Biological Systems. In *Soil Heavy Metals* (Vol. 19, pp. 19–29). Jena, Germany. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02436-8>
- Artiola, J. F., Walworth, J. L., Musil, S. A., & Crimmins, M. A. (2019). Soil and Land Pollution. In C. P. G. Mark L. Brusseau, Ian L. Pepper (Ed.), *Environmental and Pollution Science* (3rd ed., pp. 219–235). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00014-8>
- Atchison, G. J., Henry, M. G., & Sandheinrich, M. B. (1987). Effects of metals on fish behavior : a review

- . *Environmental Biology of Fishes*, 18(1), 11–25.
- Balintova, M., Singovszka, E., Holub, M., & Demcak, S. (2018). *Influence of Acid Mine Drainage on Surface Water Quality*. (A. Negm & M. Zeleňáková, Eds.), *Water Resources in Slovakia: Part I. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/698>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte De Minería Dirección Nacional De Síntesis Macroeconómica*. Retrieved from <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero012018.pdf>
- Barreiro, L. R. \*, Carballeira, O. A. \*, & Real, R. C. (1988). Metales Pesados En Los Sedimentos De Cinco Sistemas De Ria (Ferrol, Burgo, Arousa, Pontevedra Y Vigo). *Thalassas*, 6(January 2016), 61–70.
- Bat, L., & Arici, E. (2018). Heavy Metal Levels in Fish, Molluscs, and Crustacea From Turkish Seas and Potential Risk of Human Health. In A. M. G. Alina Maria Holban (Ed.), *Food Quality: Balancing Health and Disease* (In Handboo, pp. 159–196). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1/00005-5>
- Beiras, R. (2018). Biotransformation. In R. Beiras (Ed.), *Marine Pollution* (pp. 205–214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813736-9.00012-X>
- Benjamin, J. R., Connolly, P. J., Romine, J. G., Perry, R. W., Benjamin, J. R., Connolly, P. J., ... Perry, R. W. (2013). Transactions of the American Fisheries Society Potential Effects of Changes in Temperature and Food Resources on Life History Trajectories of Juvenile *Oncorhynchus mykiss* Potential Effects of Changes in Temperature and Food Resources on Life History Traje. *Transactions of the American Fisheries Society*, (October 2014), 208–220,. <https://doi.org/10.1080/00028487.2012.728162>
- Bermeo, J. F., & Celleri, A. S. (2016). *Cuantificación de la cantidad de metales pesados presentes en dos especies de peces ( *Oncorhynchus mykiss* y *Cyprinus carpio* ), y su relación con edad y tamaño en el embalse Daniel Palacios Proyecto Hidroeléctrico Paute – Molino*. Universidad del Azuay.
- Bjerregaard, P., Andersen, C. B. I., & Andersen, O. L. E. (2015). Ecotoxicology of Metals—Sources, Transport, and Effects on the Ecosystem. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (Fourth Edi, pp. 425–459). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59453-2.00021-4>
- Borgå, K., Kidd, K. A., Muir, D. C. G., Berglund, O., Conder, J. M., Gobas, F. A. P. C., ... Powellkk, D. E. (2012). Trophic magnification factors: Considerations of ecology, ecosystems, and study design. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(1), 64–84. <https://doi.org/10.1002/ieam.244>
- Bortone, S. A. (2016). Encyclopedia of Earth Sciences Series. In M. . Kennish (Ed.), *Encyclopedia of*

- Estuaries* (First, p. 304). Springer Netherlands.
- Breeze, P. (2017). Combustion Plant Emissions: Sulfur Dioxide, Nitrogen Oxides, and Acid Rain. In Paul Breeze (Ed.), *Electricity Generation and the Environment* (pp. 33–47). Academic Press., <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101044-0.00004-4>
- Brenner, I. J. (2017). *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry Applications*. (D. W. K. John C. Lindon, George E. Tranter, Ed.), *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (third). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00057-1>
- Brooks, R. ., Lewis, J. R., & Reeves, R. D. (1968). MERCURY AND OTHER HEAVY METALS IN TROUT OF CENTRAL NORTH ISLAND, NEW ZEALAND. *N.Z. Journal of Marine and Freshwater Research*, 10(October 1962), 577–590.
- Brusseau, M. L., Famisan, G. B., & Artiola, J. F. (2004). *Chemical Contaminants. Environmental Monitoring and Characterization* (3rd ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012064477-3/50018-7>
- Cachada, A., Rocha Santos, T., & Duarte, A. C. (2018). Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues. In *Soil Pollution* (pp. 1–28). Portugal: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7>
- Chi, L., & Lu, K. (2018). Biotransformation by the Gut Microbiome. In Charlene A. McQueen (Ed.), *Comprehensive Toxicology* (Third, pp. 59–73). [doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.64268-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.64268-X)
- Choi, J. S., Park, S. M., Kim, Y. H., Oh, S. C., Lim, E. S., Hong, Y. K., & Kim, M. R. (2016). Pathogenic microorganisms, heavy metals, and antibiotic residues in seven Korean freshwater aquaculture species. *Food Science and Biotechnology*, 25(5), 1469–1476. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0228-y>
- Chojnacka, K., & Mikulewicz, M. (2014). Bioaccumulation. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 5, 456–460. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01039-3>
- Chovanee, A., Hofer, R., & Schiemer, F. (2003). Fish and bioindicators. In *bioindicators and Biomonitors* (1st ed., p. 1017). USA: Elsevier Science Ltd. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/bioindicators-and-biomonitoring/markert/978-0-08-044177-1>
- Confederación hidrográfica del Ebro. (2005). PROCEDIMIENTO DE MUESTREO CON REDES Y OTRAS ARTES DE PESCA. In *Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua* (p. 51).
- Contreras, B. S., & Gutiérrez, M. (2009). Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. *Capital Natural de México, Vol. II : Estado de*

- Conservación y Tendencias de Cambio, Vol. II, II, 277–318. Retrieved from [http://www.icmyl.unam.mx/pdf/GRAMED/Assessments\\_Delivery-Item-1/New Assessments/New\\_Assessments\\_pdf\\_support information/National strategy on invasive species in Mexico COMPL1.pdf](http://www.icmyl.unam.mx/pdf/GRAMED/Assessments_Delivery-Item-1/New_Assessments/New_Assessments_pdf_support_information/National_strategy_on_invasive_species_in_Mexico_COMPL1.pdf)*
- Cook, J. (1977). Environmental pollution by heavy metals. *International Journal of Environmental Studies*, 10(4), 253–266. <https://doi.org/10.1080/00207237708737646>
- Coombs, T. L. (1980). HEAVY METAL POLLUTANTS IN THE AQUATIC ENVIRONMENT. In R. Gilles (Ed.), *INVITED LECTURES: ANIMALS AND ENVIRONMENTAL FITNESS: Physiological and Biochemical Aspects of Adaptation and Ecology* (pp. 283–302). Pergamon Press Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-024938-4.50021-5>
- Copley, H. (1940). Trout in Kenya Colony. *The East African Agricultural Journal ISSN: , 0074*(June), 416–422,. <https://doi.org/10.1080/03670074.1940.11664015>
- Cousins, R. J., Liuzzi, J. P., Properties, G., & Trace, O. F. (2018). Trace Metal Absorption and Transport. In *Physiology of the Gastrointestinal Tract* (Sixth Edit, pp. 1485–1498). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809954-4.00061-X>
- Cox, J. J., Altman, K. A., Robson, D. M., Masun, K., Robertson, L., & Diaz, C. A. (2016). TECHNICAL REPORT ON THE LOMA LARGA PROJECT , AZUAY PROVINCE , ECUADOR. Toronto, Canada.
- Crichton, R. (2019). Metals in the environment. In R. Crichton (Ed.), *Biological Inorganic Chemistry* (pp. 625–644). Academic Press,. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811741-5.00023-0>
- Cruz, G. A. (1979). Efecto de los metales pesados en la vida silvestre. *A Scientific Journal Issued by the Escuela Agrícola Panamericana*, 23(1), 51–62.
- Cui, B., Zhang, Q., Zhang, K., Liu, X., & Zhang, H. (2011). Analyzing trophic transfer of heavy metals for food webs in the newly-formed wetlands of the Yellow River Delta , China. *Environmental Pollution*, 159(5), 1297–1306. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.024>
- D’ltri, P. A., & D’ltri, F. M. (1978). Mercury Contamination : A Human Tragedy Japan : Where the Modern Story Begins. *FM Environmental Management*, 2(1), 3–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF01866442>
- Dadar, M., Adel, M., Ferrante, M., Nasrollahzadeh, H., Copat, C., Conti, G. O., & and River, H. (2016). Potential risk assessment of trace metals accumulation in food , water and edible tissue of rainbow trout ( *Oncorhynchus mykiss* ) farmed in Haraz River , northern Iran Potential risk assessment of trace metals accumulation in food , water. *Toxin Review*, 35(3–4), 141–146.

<https://doi.org/10.1080/15569543.2016.1217023>

- Dadar, M., Adel, M., Ferrante, M., Nasrollahzadeh, H., Copat, C., Conti, G. O., & River, H. (2016). Potential risk assessment of trace metals accumulation in food, water and edible tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in Haraz River, northern Iran. *Potential risk assessment of trace metals accumulation in food, water*, 9543(October). <https://doi.org/10.1080/15569543.2016.1217023>
- Dallinger, R., & Kautzky, H. (1985). The importance of contaminated food for the uptake of heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*): a field study. *Oecologia*, 67(1), 82–89. <https://doi.org/10.1007/BF00378455>
- Deb, S. C., & Fukushima, T. (1999a). Metals in aquatic ecosystems: mechanisms of uptake, accumulation and release - Ecotoxicological perspectives. *Environmental Studies*, 56(3), 37–41. <https://doi.org/10.1080/00207239908711212>
- Deb, S. C., & Fukushima, T. (1999b). Metals in aquatic ecosystems: mechanisms of uptake, accumulation and release-Ecotoxicological perspectives. *International Journal of Environmental Studies*, 56(3), 385–417. <https://doi.org/10.1080/00207239908711212>
- Dedual, M., Jowett, I. G., Bag, P., & Zealand, N. (1999). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research Movement of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during the spawning migration in the Tongariro River, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, (October 2014), 107–117. <https://doi.org/10.1080/00288330.1999.9516861>
- Di Bonito, M., Lofts, S., & Groenenberg, J. E. (2018). Models of Geochemical Speciation: Structure and Applications. In B. De Vivo, H. E. Belkin, & A. Lima (Eds.), *Environmental Geochemistry: Site Characterization, Data Analysis and Case Histories: Second Edition* (2nd ed., pp. 237–305). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63763-5.00012-4>
- Dorgham, M. M. (2014). Effects Eutrophication. In A. A. Ansari & S. S. Gill (Eds.), *Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2* (Vol. 2, pp. 29–44). Alexandria, Egypt. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7814-6>
- Doula, M. K., & Sarris, A. (2016). Soil Environment. In V. J. I. Stavros G. Pouloupoulos (Ed.), *Environment and Development* (pp. 213–286). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-62733-9.00004-6>
- Eggleton Michael A.; Morgan, E. L. (2000). Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Production Dynamics and Relations with Abiotic Factors in Two Southern Appalachian Mountain Streams. *Journal of Freshwater Ecology*, 15(2), 37–41. <https://doi.org/10.1080/02705060.2000.9663742>
- Eisenbud, M., & Gesell, T. (1997). Terrestrial and Aquatic Pathways. In *Environmental Radioactivity* (Fourth, pp. 88–133). <https://doi.org/10.1016/b978-012235154-9/50009-8>

- Eisler, R. (2004). Mercury Hazards from Gold Mining to Humans, Plants, and Animals. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (pp. 139–198). New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/0-387-21733-9\\_4](https://doi.org/10.1007/0-387-21733-9_4)
- Eisler, R. (2006). *Mercury hazards to living organisms*. (CRC Press & T. & Francis, Eds.). CRC/Taylor & Francis.
- Empresa Nacional Minera del Ecuador. (2016). *Portafolio de proyectos 2016*. Quito. Retrieved from <http://www.enamiep.gob.ec/transparencia/2016/portafolioweb.pdf>
- EPA, E. P. A. (2002). Risk Assessment: Technical Background. RBG. Table. In *Risk Assessment: Technical Background. RBG. Table*. Retrieved from <http://www.EPA.Gov./teg3hwmd/risk>.
- Evans, T. J. (2006). Toxicokinetics and Toxicodynamics. In P. A. T. Michael E. Peterson (Ed.), *Small Animal Toxicology* (Second, pp. 18–28). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-0639-2.50001-0>
- Falcó, G., Nadal, M., & Llobet, J. M. (2012). Toxicología alimentaria. In *Riesgo tóxico por metales presentes en alimentos*. (pp. 320–323).
- FAO, F. and A. O. of the U. N. (1983). *Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products*. Rome. Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nation.
- Fernández-Sánchez, M. L. (2019). Optical Atomic Emission Spectrometry—Inductively Coupled Plasma. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* (Third, pp. 169–176). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.14542-1>
- Fleeger, J. W., Carman, K. R., & Nisbet, R. M. (2003). Indirect effects of contaminants in aquatic ecosystems. *The Science of the Total Environment*, 317(03), 207–233. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00141-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00141-4)
- Fornshell, G. (2002). Rainbow Trout — Challenges and Solutions. *Fisheries Science*, (October 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1080/20026491051785>
- Foster, I. D. L., & Charlesworth, S. M. (1996). Heavy metals in the hydrological cycle: trends and explanation. *Hydrological Processes*, 10(August 1994), 227–261.
- Gadd, G. M. (2009). Heavy Metal Pollutants: Environmental and Biotechnological Aspects. *Encyclopedia of Microbiology*, 321–334. <https://doi.org/10.1016/b978-012373944-5.00149-8>
- Gallardo, E. C., Arroyo, D. M., Moncayo, E. R., & Rivera, R. M. (2015). Evaluación de la integridad ecológica del río Duero, Michoacan. In *Ier Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología*. Querétaro, Mexico.
- García-lestón, J., Méndez, J., Pásaro, E., & Laffon, B. (2010). Genotoxic effects of lead: An updated

- review. *Environment International Journal*, 36, 623–636.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.011>
- García, C., Moreno, J. L., Hernández, M. T., & Polo, A. (2002a). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 125–138. Retrieved from <http://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- García, C., Moreno, J. L., Hernández, T., & Polo, A. (2002b). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente*, 125–138.
- García, J. M., Sarmiento, L. F., Salvador, M., & Sabrina, L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos : aplicación en ríos tropicales de alta montaña . Revisión corta Use of bioindicators for assessing water quality in rivers : application in tropical high mo. *UG Ciencia*, 55–70.
- Glasauer, S. M., Beveridge, T. J., Burford, E., Harper, F., & Gadd, G. (2013). Metals and Metalloids , Transformation by Microorganisms ☆. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (pp. 1–11). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05217-9>
- González, D. (2014). Bioindicadores como aliados en el monitoreo de condiciones ambientales. *CEGESTI*, (252), 1–4.
- González, G., Herrera, M., Monks, S., & Pulido, G. (2015). Presencia de metales pesados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México. *Estudios En Biodiversidad*, 1, 150–154. Retrieved from: <http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad%5Cnhttp://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/13%5Cnhttp://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad%0Ahttp://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad>.
- Goyer, R. A. (1975). *The Accumulation and Excretion of Heavy Metals in Organisms (J. K. Miettinen). Heavy Metals in the Aquatic Environment*. Pergamon Press Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-018068-7.50027-7>
- Gupta, P. (2018). Environmental and ecotoxicology. In A. Press (Ed.), *Illustrated Toxicology: With Study Questions* (pp. 373–425). John Fedor. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813213-5.00014-6>
- Gwaltney-Brant, S. M. (2013). Heavy Metals. In *Haschek and Rousseaux's Handbook of Toxicologic Pathology* (Third, pp. 1315–1347). Illinois: Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415759-0.00041-8>
- Gyamfi, E., Appiah-Adjei, E. K., & Adjei, K. A. (2019). Potential heavy metal pollution of soil and water resources from artisanal mining in Kokoteasua, Ghana. *Groundwater for Sustainable Development*, 8(December 2018), 450–456. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.01.007>



- Habit, E., González, J., Ortiz, S. J., Elgueta, A., & Sobenes, C. (2015). Efectos de la invasión de salmónidos en ríos y lagos de Chile. *Ecosistemas*, 24(1), 43–51. <https://doi.org/Doi.: 10.7818/ECOS.2015.24-1.08>
- Haraguchi, A. (2016). Tropical peatland ecosystems. In M. Osaki & N. Tsuji (Eds.), *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 297–311). <https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7>
- Hawkins, A. B. (2013). *Engineering Implications of the Oxidation of Pyrite: An Overview, with Particular Reference to Ireland. Implications of Pyrite Oxidation for Engineering Works*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00221-7>
- Held, T. (1998). Heavy Metals: Chemical Time Bombs in Urban Soils. In J. Breuste, H. Feldmann, & O. Uhlmann (Eds.), *Urban Ecology* (pp. 156–158). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-88583-9\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-642-88583-9_27)
- Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12).
- Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbón, A. (2013). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 27–36. <https://doi.org/10.18845/tm.v26i1.1119>
- Hidalgo, R. T. (2012). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. *Tecnogestión*, 9(1), 3–11. Retrieved from <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tecges/article/view/5646/7164>
- Hu, Z., & Qi, L. (2014). Sample Digestion Methods. In K. K. T. Heinrich D. Holland (Ed.), *Treatise on Geochemistry* (: Second E, pp. 87–109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01406-6>
- Hughes, H. R. (1985). Heavy metals and the environment : An introduction. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, 15(4), 347–353. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1080/03036758.1985.10421711>
- PLEASE
- Hurtado, C. S., Herbach, E. P., & Campos, M. U. (2015). Intoxicación por metales en peces. In *Toxicidad Acuática en peces*.
- Ibarra, A. A. (2005). Los Peces Como Indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista Digital Universitaria*, 6(8), 1067–6079.
- Islam Shajib, M. T., Bruun Hansen, H. C., Liang, T., & Holm, P. E. (2019). Metals in surface specific urban runoff in Beijing. *Environmental Pollution*, 248, 584–598. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.039>
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity , mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72.

<https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>

- James, G. D., Kelso, J. R. M., & Zealand, N. (1995). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research Movements and habitat preference of adult rainbow trout ( *Oncorhynchus mykiss* ) in a New Zealand montane lake. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, (November 2014), 493–503. <https://doi.org/10.1080/00288330.1995.9516682>
- Janadeleh, H., & Kameli, M. A. (2017). Metals contamination in sediment and their bioaccumulation in plants and three fish species from freshwater ecosystem Metals contamination in sediment and their bioaccumulation in plants and three fish species from freshwater ecosystem. *Toxin Reviews*, 0(0), 000. <https://doi.org/10.1080/15569543.2017.1309551>
- Jaramillo, V. A. (2013). *CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LA GEOMORFOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LA MICROCUENCA DEL RÍO IRQUIS, PARROQUIA VICTORIA DEL PORTETE, CANTÓN CUENCA – PROVINCIA DEL AZUAY*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Jia, Z., Li, S., & Wang, L. (2018). Assessment of soil heavy metals for eco-environment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin. *Scientific Reports*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21569-6>
- Jickells, T. D., & Baker, A. R. (2015). Heavy Metals. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (Second Edi, pp. 201–204). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00018-9>
- Jiménez, J., Lacomba, I., Sancho, V., & Risueño, P. (2002). ONCORHYNCHUS MYKISS. *Peces Continentales, Anfibios y Reptiles de La Comunidad Valenciana.*, 271.
- Junta de Castilla y León. (2008). *Los Metales*.
- Kalev, S. D., & Toor, G. S. (2017). The Composition of Soils and Sediments. In *Green Chemistry: An Inclusive Approach* (pp. 339–357). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00014-5>
- Kennedy, C. J. (2011). The Toxicology of Metals in Fishes. In A. P. Farrell (Ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology* (Vol. 3, pp. 2061–2068). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374553-8.00236-7>
- Khalid, S., Ahmed, E., Khan, Y., Nawaz, S., Ramzan, M., Khalid, N. R., & Ahmed, W. (2018). Iron Pyrite (FeS<sub>2</sub>): Sustainable Photovoltaic Material. In M. J. Jackson & W. Ahmed (Eds.), *Micro and Nanomanufacturing Volume II* (Vol. II, pp. 281–318). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-67132-1>
- King, J. K., Saunders, F. M., Lee, R. F., & Jahnke, R. A. (1999). Coupling mercury methylation rates to sulfate reduction rates in marine sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(7), 1362–1369. [https://doi.org/10.1897/1551-5028\(1999\)018<1362:CMMRTS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1897/1551-5028(1999)018<1362:CMMRTS>2.3.CO;2)
- Komnitsas, K., Xenidis, A., & Adam, K. (1995). Oxidation of pyrite and arsenopyrite in sulphidic spoils in

- Lavrion. *Minerals Engineering*, 8(12), 1443–1454. doi.org/10.1016/0892-6875(95)00109-3
- Kumari, B., Kumar, V., Sinha, A. K., Ahsan, J., Ghosh, A. K., Wang, H., & DeBoeck, G. (2017). Toxicology of arsenic in fish and aquatic systems. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), 43–64. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0588-9>
- Lemley, D. A., & Adams, J. B. (2019). Eutrophication. In Brian Fath (Ed.), *Encyclopedia of Earth Sciences Series* (p. 86–90). Elsevier,. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8801-4_2)
- Liang, Y., & Wong, M. H. (2007). Heavy Metal Mobility and Aquatic Biogeochemical Processes at Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong. In *Wetlands Ecosystems in Asia* (Vol. 1, pp. 69–85). <https://doi.org/10.1016/b978-044451691-6/50008-9>
- Likens, G. E. (2013). Acid Rain. In G. E. L. Kathleen C. Weathers, David L. Strayer (Ed.), *Fundamentals of Ecosystem Science*, (Academic P, pp. 259–264). <https://doi.org/10.1080/00139157.1972.9933001>
- Likens, G. E., & Butler, T. J. (2017). *Acid Rain: Causes, Consequences, and Recovery in Terrestrial, Aquatic, and Human Systems. Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.09977-8>
- Lins, J. A. P. N., Kirschnik, P. G., Queiroz, V. da S., & Cirio, S. M. (2010). Uso de peixes como biomarcadores para monitoramento ambiental aquático. *Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.*, 8(4), 469–484.
- Liu, A., Ma, Y., Gunawardena, J. M. A., Egodawatta, P., Ayoko, G. A., & Goonetilleke, A. (2018). Heavy metals transport pathways: The importance of atmospheric pollution contributing to stormwater pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164(May), 696–703. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.072>
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Loubens, G. (1983). Especies introducidas 1. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, (2), 425–430.
- Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., & de Poorter, M. (2004). *100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Selección del Global Invasive Species Database*. (Primera ed). Grupo Especialista en Especies Invasoras (GEEI), de la Comisión de Supervivencia de Especies (CSE) de la Unión Mundial para la Naturaleza (UICN).
- Luptáková, A., & Andráš, P. (2018). Formation of Acid Mine Drainage in Sulphide Ore Deposits. In A. M. Negm & M. Zelenáková (Eds.), *Water Resources in Slovakia: Part I* (Vol. 69, pp. 259–276). <https://doi.org/10.1007/698>

- Luque, C. J., Castellanos, E. M., Castillo, S. J. M., González, M., González, V. M. C., & Figueroa, M. E. (1998). Distribución de metales pesados en sedimentos de las marismas del Odiel (Huelva, España). *Cuaternario y Geomorfología*, 12(3–4), 77–85. Retrieved from <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/44307>
- M.J. Holden, & D.F.S. Raitt. (1975). MANUAL DE CIENCIA PESQUERA Parte 2 - Métodos para Investigar los Recursos y su Aplicación. Retrieved July 21, 2019, from <http://www.fao.org/3/f0752s/F0752S00.htm#toc>
- Marins, R. V, Filho, J. F. D. P., Maia, S. R. R., Lacerda, L. D. de, & Marques, W. S. (2004). TOTAL MERCURY DISTRIBUTION AS A PROXY OF URBAN AND INDUSTRIAL POLLUTION ALONG THE BRAZILIAN Revisão. *Quim. Nova*, 27(5), 763–770.
- Martín, T. L., Sandoval, S. J. V., Muñoz, J., Diéguez, U., Bosch, J., & Guayasamin, J. M. (2016). Rainbow trout ( *Oncorhynchus mykiss* ) threaten Andean amphibians. *Neotropical Biodiversity*, 2(1), 26–36. <https://doi.org/10.1080/23766808.2016.1151133>
- Martínez, G. (2012). Metales Pesados En Sedimentos Superficiales Del Golfo De. *Boletín Inst. Oceanografía Venezuela*, 51(1), 3–18.
- Martínez, F. J., García, M. P., Canteras, M., De Costa, J., & Zamora, S. (1992). Factors simultaneously affecting the growth of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Arch Int Physiol Biochim Biophys*, 100(5), 345–348. <https://doi.org/10.3109/13813459209000724>
- Martínez Santos, P. (2018). *Hidrogeología: principios y aplicaciones*. Madrid, SPAIN: McGraw-Hill España. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaupssp/detail.action?docID=5636222>
- Masoud, M. S., El-Samra, M. I., & El-Sadawy, M. M. (2007). Heavy-metal distribution and risk assessment of sediment and fish from. *Chemistry and Ecology*, 23(3), 201–216. <https://doi.org/10.1080/02757540701339760>
- Miettinen, J. K. (1975). THE ACCUMULATION AND EXCRETION OF HEAVY METALS IN ORGANISMS. In *Heavy Metals in the Aquatic Environment Proceedings of the International Conference Held in Nashville, Tennessee, December 1973* (pp. 155–162). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-018068-7.50026-5>
- Millward, G. E., Turner, A., & He, X. (2019). Metal Pollution. In *Encyclopedia of Ocean Sciences, 3rd Edition* (3rd ed., Vol. 6, pp. 342–349). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11287-4>
- Mitra, A., & Zaman, S. (2016). *Basics of marine and estuarine ecology. Basics of Marine and Estuarine*

- Ecology*. New Delhi. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2707-6>
- Molina, C. I., Ibañez, C., & Gibon, F.-M. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología En Bolivia*, 47(2), 99–118.
- Moore, J. W., & Ramamoorthy, S. (1984). Mercury. In *Heavy Metals in Natural Waters: Applied Monitoring and Impact Assessment* (pp. 125–160). New York, NY: Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5210-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-5210-8_7)
- Muñoz, A. A., & Alfaro, R. M. (2009). Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía en Capital natural de México. In *Estado de conservación y tendencias de cambio CONABIO* (Vol. II, pp. 277–318). México.
- Muñoz Camacho, E., Contreras López, A., & Molero Meneses, M. (2018). *Ingeniería del medio ambiente*. Madrid, SPAIN: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Retrieved from <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliotecaupssp/detail.action?docID=5636509>
- Musman, M. (2010). Toxicity of Heavy Metals. In *E.-I. Ochiai, General Principles of Biochemistry of the Elements* (Vol. 21, pp. 41–50).
- Niimi, A. J., & Kisson, G. P. (1994). Evaluation of the critical body burden concept based on inorganic and organic mercury toxicity to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 26(2), 169–178. <https://doi.org/10.1007/BF00224801>
- Nikinmaa, M. (2014). Excretion of Compounds from Organisms. In Mikko Nikinmaa (Ed.), *An Introduction to Aquatic Toxicology* (pp. 99–110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-411574-3.00010-4>
- Nolla Alomar, M., & Miquel. (2016). Resolución del conflicto entre los comportamientos termorreguladores y alimentarios en reptiles.
- Oehlenschläger, J. (2002). Identifying heavy metals in fish. *Safety and Quality Issues in Fish Processing*, 95–113. <https://doi.org/10.1533/9781855736788.1.95>
- Ohara, T. (2019). Long-Range Transport and Deposition of Air Pollution. In *Encyclopedia of Environmental Health* (2nd ed., pp. 515–519). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52272-6.00059-3>
- Olsson, P.-E., Kling, P., & Hogstrand, C. (1998). Mechanisms of heavy metal accumulation and toxicity in fish. In W. J. Langston & M. J. Bebianno (Eds.), *Metal Metabolism in Aquatic Environments* (pp. 321–350). Boston, MA: Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2761-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2761-6_10)
- OMS, O. M. de la S. (1995). Norma General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos

- y piensos. In *Codez Alimentarius* (p. 62). Retrieved from [codex@fao.org](http://codex@fao.org)
- Ortiz, D. E., & Alama, S. F. (2015). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica*, 18(36), 35–41.
- Ortiz, E. A., & Toral, A. V. (2008). Guía de ANFIBIOS, REPTILES Y PECES del Parque Nacional Cajas.
- Osman, K. T. (2018). Polluted Soils. In *Management of Soil Problems* (pp. 1–474). Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75527-4>
- Oviedo, A. R., Moína, Q. E., Naranjo, M. J., & Barcos, A. M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Parbhakar-Fox, A., & Lottermoser, B. (2016). Predictive environmental indicators in metal mining. In *Environmental Indicators in Metal Mining* (pp. 15–34). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42731-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42731-7_1)
- Patinha, C., Armienta, A., Argyraki, A., & Durães, N. (2017). *Inorganic Pollutants in Soils. Soil Pollution*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-849873-6.00006-6>
- Pennell, W., & Barton, B. A. (1996). *Principles of salmonid culture*. Elsevier. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/principles-of-salmonid-culture/pennell/978-0-444-82152-2>
- Peralta Vanegas, A. R. (2018). *Determinación de la dispersión geoquímica de Pb en sedimentos de afluentes del área de incidencia del proyecto minero Loma Larga*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7705/1/13512.pdf>
- Pernia, B., Mero, M., & Arcos, V. (2016). Bioacumulación de metales pesados en organismos centinelas. *ResearchGate*, (December), 19–28. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Beatriz\\_Pernia?enrichId=rgreq-e40b0f4754d9419b7523a0e09a0a5354-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMxODQ2MDU3MztBUzo1MTY5MzEzMjU1MTM3MjhAMTUwMDI1NzQ0MDY3Ng%3D%3D&el=1\\_x\\_10&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/profile/Beatriz_Pernia?enrichId=rgreq-e40b0f4754d9419b7523a0e09a0a5354-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMxODQ2MDU3MztBUzo1MTY5MzEzMjU1MTM3MjhAMTUwMDI1NzQ0MDY3Ng%3D%3D&el=1_x_10&_esc=publicationCoverPdf)
- Popek, E. (2018). *Environmental Chemical Pollutants. Sampling and Analysis of Environmental Chemical Pollutants*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803202-2.00002-1>
- Poplavko, Y. M. (2019). Metals. In Y. M. Poplavko (Ed.), *Electronic Materials* (pp. 165–220). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815780-0.00005-0>
- Potters, G. (2013). *Marine Pollution*. (Bookboon, Ed.) (1 st).
- Quinn, T. P. (2011). *The Behavior and Ecology of Pacific Salmon and Trout*. (UBC Press & American Fisheries Society, Eds.). Canadá: University of Washington Press.

- Rajaram, R., & Ganeshkumar, A. (2018). *Anthropogenic Influence of Heavy Metal Pollution on the Southeast Coast of India. Coastal Zone Management*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814350-6.00016-1>
- Rees, P. A. (2018). Environmental Pollution and Perturbations. In Paul A. Rees (Ed.), *Examining Ecology* (pp. 201–236). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809354-2.00008-7>
- Repula, C. M. M., Campos, B. K. de, Ganzarolli, E. M., Lopes, M. C., & Quináia, S. P. (2012). Biomonitoramento de Cr e Pb em peixes de agua doce. *Quim. Nova*, 35(5), 905–909.
- Reyes, B. H., & Ortega, S. A. A. (1998). Reproducción de la trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) de 1985 a 1988 en la piscifactoría Apulco, Puebla, México. *Ciencia y Mar*. Retrieved from <http://www.umar.mx/revistas/4/reproducciondelatruchaarcoiris.pdf>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzáles, E. (2016). Contaminación Por Metales Pesados : Implicaciones En Salud , Ambiente Y Seguridad Alimentaria. *Investigacion y Desarrollo*, 16(2), 66–77.
- Romano, L. A. (1999). Bioindicadores de contaminación acuática en peces. *Aquatic*, 2933(1198). Retrieved from <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/html/art701/bioindica.htm>
- Rowe, D. K., & Chisnall, B. L. (1995). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research Effects of oxygen , temperature and light gradients on the vertical distribution of rainbow trout , *Oncorhynchus mykiss* , in two North Island , New Zealand , lakes differing in trophic status. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, (October 2014), 421–434. <https://doi.org/10.1080/00288330.1995.9516676>
- Roychowdhury, A., Datta, R., & Sarkar, D. (2018). Heavy Metal Pollution and Remediation. In *Green Chemistry* (pp. 359–373). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00015-7>
- Roychowdhury, A., Datta, R., & Sarkar, D. (2017). *Heavy Metal Pollution and Remediation*. (T. D. éla Török, Ed.), *Green Chemistry: An Inclusive Approach*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00015-7>
- Rubio, C., Gutiérrez, a. , Martín Izquierdo, R. , Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, a. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Toxicol*, 21, 72–80. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342010000200010>
- Saha, J. K., Selladurai, R., Coumar, M. V., Dotaniya, M. , Kundu, S., & Patra, A. K. (2017). Assessment of Heavy Metals Contamination in Soil. In *Soil Pollution. An Emerging Threat to Agriculture, Environmental Chemistry for a Sustainable World 10*, (Vol. 10). Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4274-4>

- Saha, N., Mollah, M. Z. I., Alam, M. F., & Safiur Rahman, M. (2016). Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. *Food Control*, *70*, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.040>
- Salomons, W., & Förstner, U. (1984). Metals in the Hydrocycle. In *Alctu hydrochim.et liydrobiol* (Vol. 13, p. 267). Berlin. <https://doi.org/10.1002.19850130225>
- Sanchez, I., Luxan, P., & Frias, M. (1986). Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry. *Methods in Enzymology*, *36*(202), 31–46. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(88\)58056-4](https://doi.org/10.1016/0076-6879(88)58056-4)
- Schafer, S. G., Dawes, R. L. ., Elsenhans, B., Forth, W., & Schumann, K. (1999). Metals. In *TOXICOLOGY* (pp. 755–804).
- Schweitzer, L., & Noblet, J. (2018). Water Contamination and Pollution. In *Green Chemistry* (pp. 261–290). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00011-X>
- Selvakumar, S., Chandrasekar, N., & Kumar, G. (2017). Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resources and Industry*, *17*(December 2016), 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2017.02.002>
- Selvin, J., Priya, S., Kiran, S. G., & Bhosle, S. (2006). *Biomonitoring of heaby metal pollution in the marine enviroment using indicator organisms*. (M. L. Sanchez, Ed.), *Causes and Effects of Heavy Metal Pollution*. 8: Nova Science. Retrieved from <https://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2708/lib/upsal/reader.action?docID=3018437>
- Sharon, L., Zuber, M., & Newman, C. (2017). *MERCURY POLLUTION: a transdisciplinary treatment*. CRC PRESS.
- SHUEY, R. T. (Ed.). (1975). Pyrite- FeS<sub>2</sub>. In *Developments in Economic Geology*, (Vol. 4, pp. 304–318). Elsevier,. [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(13\)70001-3](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(13)70001-3)
- Singh, R. L., & Singh, P. K. (2017). Principles and Applications of Environmental Biotechnology for a Sustainable Future, Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. In R.L. Singh (Ed.), *Global Environmental Problems* (pp. 13–29). Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1866-4>
- Smith, V. H. (2009). Eutrophication V. In *Encyclopedia of Inland Waters* (Gene E. Li, pp. 61–73). Academic Press,. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00234-9>.
- Sparling, D. W. (2016). Metals. In D. W. Sparling (Ed.), *Ecotoxicology Essentials* (pp. 225–275). Academic Press,. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801947-4.00008-1>
- Stankovic, S., & Stankovic, A. R. (2013). Bioindicators of Toxic Metals. In E. et al Lichtfouse (Ed.), *Green Materials for Energy, Products and Depollution, Environmental Chemistry for a Sustainable World*



- (Vol. 3, pp. 151–228). Springer, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6836-9>
- Sultana, M. S., Jolly, Y. N., Yeasmin, S., Islam, A., Satter, S., & Tareq, S. M. (2014). *Transfer of Heavy Metals and Radionuclides from Soil to Vegetables and Plants in Bangladesh. Soil Remediation and Plants: Prospects and Challenges*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00012-7>
- Swales, S. (2006). A Review of Factors Affecting the Distribution and Abundance of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) in Lake and Reservoir Systems. *Lake and Reservoir Management*, (October 2014), 167–178. <https://doi.org/10.1080/07438140609353894>
- Takaoka, M., Habuer, Yoshimoto, N., Fujimori, T., Oshita, K., Sakai, N., & Syed Abd Kdir, S. A. (2018). Atmospheric Emission of Mercury in Malaysia. In M. M. M. Yoneda (Ed.), *Environmental Risk Analysis for Asian-Oriented, Risk-Based Watershed Management* (pp. 33–44). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-8090-6\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-10-8090-6_3)
- Tattam, I. A., Ruzycski, J. R., Li, H. W., & Giannico, G. R. (2013). Body Size and Growth Rate Influence Emigration Timing of *Oncorhynchus mykiss*. *American Fisheries Society*, 1406–1414. <https://doi.org/10.1080/00028487.2013.815661>
- Taylor, D. (1979). A review of the lethal and sub-lethal effects of mercury on aquatic life. *Residue Reviews*, 72, 33–69.
- Tejada, T. C., Villabona, O. Á., & Garcés, J. L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 123–7799.
- Tirado, A. L. R., González, M. F. D., Martínez, H. L. J., Wilches, V. L. A., & Celedón, S. J. N. (2015). Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Revista Nacional de Odontología*, 11(21). <https://doi.org/10.16925/od.v11i21.895>
- Todolí, J.-L. (2019). *Atomic Mass Spectrometry | Inductively Coupled Plasma Mass spectrometry* ☆. (P. Worsfold, C. Poole, A. Townshend, & M. Miró, Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science* (Third, Vol. 1). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b0-12-369397-7/00036-4>
- UE, U. E. (2017). Metales Pesados CONTENIDOS MAXIMOS EN METALES PESADOS EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS. Revisión Marzo 2017.
- UNESCO-WWAP. (2016). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua y Empleo. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.
- Usero, J., Morillo, J., & Gracia, I. (2005). Heavy metal concentrations in molluscs from the Atlantic coast of southern Spain. *Chemosphere*, 59(8), 1175–1181.

- <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.11.089>
- Vallero, D. A. (2006). Dropping Acid and Heavy Metal Reactions. In D. A. Vallero (Ed.), *Paradigms Lost* (pp. 339–365). Butterworth-Heinemann., <https://doi.org/10.1016/b978-075067888-9/50011-9>
- Varol, M., Kaya, G. K., & Alp, A. (2017). Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Firat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. *Science of the Total Environment*, 599–600, 1288–1296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.052>
- Vásquez, G. S., Castro, G. M., Gonzáles, I. M., Pérez, R. R., & Castro, T. B. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60, 41–48. Retrieved from <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>
- Vega, R., Zamorano, J., Encina, F., & Mardones, A. (2015). Efecto del calcio sobre la toxicidad aguda de aluminio en alevines de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) expuestos en aguas de diferente pH. *J. Aquat. Res.*, 43(2), 337–343. <https://doi.org/10.3856/vol43-issue2-fulltext-10>
- Velázquez-Velázquez, E., & Vega-Cendejas, M. E. (2004). Los peces como indicadores de los ecosistemas acuáticos. *CONABIO, Biodiversitas*, 57, 12–15.
- Velázquez, E., Rivera, V. G., Pérez, F. M. Á., & Chávez, C. A. (2014). Introducción de especies exóticas: implicaciones para la biodiversidad. In Unicach.mx (Ed.), *Biodiversidad y sustentabilidad* (1 st, p. 30). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.: Chiapas, Universidad de Ciencias y Artes de.
- Vigneri, R., Malandrino, P., Gianì, F., Russo, M., & Vigneri, P. (2017). Heavy metals in the volcanic environment and thyroid cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 457, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2016.10.027>
- Walbaum. (1972). Cultured Aquatic Species Information Programme *Oncorhynchus mykiss* Fisheries. Retrieved from <http://ci.nii.ac.jp/naid/80007531009/>
- Walker, D. B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P., & Fitzsimmons, K. (2019). Surface Water Pollution. In C. P. G. Mark L. Brusseau, Ian L. Pepper (Ed.), *Environmental and Pollution Science* (3rd ed., pp. 261–292). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1002/047147844x.sw1026>
- Woodford, D., & Impson, N. (2004). A preliminary assessment of the impact of alien rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on indigenous fishes of the upper Berg River, Western Cape Province, South Africa. *African Journal of Aquatic Science*, 29(1), 107–111. <https://doi.org/10.2989/16085910409503799>
- Wyse, E. J., Azermard, S., & Mora, S. J. Report on the world wide intercomparison exercise for the determination of trace elements and methylmercury and fish homogenate IAEA-407. IAEA/AL/144

(IAEA/MEL/72) IAEA (2003). Mónaco.

Yarahmadi, P., Miandare, H. K., Fayaz, S., & Caipang, C. M. A. (2016). Increased stocking density causes changes in expression of selected stress- and immune-related genes, humoral innate immune parameters and stress responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish and Shellfish Immunology*, 48, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.11.007>

Zhang, H., Huo, S., Yeager, K. M., Xi, B., Zhang, J., He, Z., ... Wu, F. (2018). Accumulation of arsenic, mercury and heavy metals in lacustrine sediment in relation to eutrophication: Impacts of sources and climate change. *Ecological Indicators*, 93(March), 771–780. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.059>

Zhao, Y., Sultan, D., & Liu, Y. (2019). *Biodistribution, Excretion, and Toxicity of Nanoparticles. Theranostic Bionanomaterials*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815341-3.00002-X>

## 8. Anexos

### Anexo 1. Reportes trimestrales de monitoreo de agua

REPORTES TRIMESTRALES			LIMITES PERMISIBLES (MG/LT)			
Año	Punto	Trimestre	0,1	0,01	0.0002	
			AL	PB	HG	
2003	P1	ABRIL	0	0		
		JUL-AGO-SEP	0	0		
		OCT-NOV-DIC	0	0		
	P2	ABRIL	0	0		
		JUL-AGO-SEP	0	0		
		OCT-NOV-DIC	0	0		
2004	P1	ENE-FEB-MAR	0	0,01		
		JUL-AGO-SEP	0	< 0,01		
		OCT-NOV-DIC	0	< 0,01		
	P2	OCT-NOV-DIC	0	< 0,01		
		P4	ENE-FEB-MAR	0	< 0,01	
			JUL-AGO-SEP	0	< 0,01	
	OCT-NOV-DIC		0	0		
	P6	OCT-NOV-DIC	0	< 0,01		
		P7	OCT-NOV-DIC	0	< 0,01	
2005	P1	ENE-FEB-MAR	0	< 0,01		
		ABR-MAY-JUN	-	-		
		JUL-AGO-SEP	-	-		

	P2	ENE-FEB-MAR	0	< 0,01
		ABR-MAY-JUN	0	0
		JUL-AGO-SEP	0	0
		DIC	0	0
	P4	ENE-FEB-MAR	0	0
		ABR-MAY-JUN	0	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0	< 0,01
		DIC	0,03	< 0,01
	P6	ENE-FEB-MAR	0	< 0,01
		ABR-MAY-JUN	0	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	0	0
	P7	ENE-FEB-MAR	0	< 0,01
		ABR-MAY-JUN	0	0,0129
		JUL-AGO-SEP	0	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	0	0
2006	P1	ENE-FEB-MAR	0,427	0,0265
		ABR-MAY-JUN	0,03	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,0972	0,0276
		OCT-NOV-DIC	-	< 0,200
	P2	ENE-FEB-MAR	0,476	0,0305
		ABR-MAY-JUN	0,03	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,1121	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	-	< 0,200
	P4	ENE-FEB-MAR	0,307	0,0213
		ABR-MAY-JUN	0,03	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,0724	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	-	< 0,200
	P6	ENE-FEB-MAR	27,85	0,0285
		ABR-MAY-JUN	0,133	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,134	0,0102
		OCT-NOV-DIC	-	< 0,200
	P7	ENE-FEB-MAR	18,24	0,0273
		ABR-MAY-JUN	0,1282	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,156	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	-	< 0,200
2007	P1	ENE-FEB-MAR	0,132	0,0209
		ABR-MAY-JUN	0,301	< 0,01
		JUL-AGO-SEP	0,03	< 0,01
		OCT-NOV-DIC	0,079	< 0,01
	P2	ENE-FEB-MAR	0,2534	0,026

		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,289</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0585</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,0937</i>	<i>&lt; 0,01</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,169</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,35</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,057</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1102</i>	<i>&lt; 0,01</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,08</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1089</i>	<i>&lt; 0,01</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,1278</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1656</i>	<i>&lt; 0,01</i>
<i>2008</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1889</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,7844</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0536</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,2655</i>	<i>0,018</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,0341</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1138</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,03</i>	<i>0,0344</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,7728</i>	<i>0,0192</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1767</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1525</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,03</i>	<i>0,0301</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,2504</i>	<i>0,0188</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,0974</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,2637</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,2688</i>	<i>0,0158</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1051</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,866</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0813</i>	<i>0,0114</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>2009</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,242</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,3096</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0486</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>&lt; 0,04</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1602</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,063</i>	<i>&lt; 0,04</i>

		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,797</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>&lt; 0,04</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,03</i>	<i>&lt; 0,01</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,3663</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,2658</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>&lt; 0,04</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,234</i>	<i>0,01918</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1613</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,1982</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>&lt; 0,04</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,06026</i>	<i>0,01471</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,4115</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,5832</i>	<i>&lt; 0,04</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0</i>	<i>&lt; 0,04</i>
<i>2010</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,2863</i>	<i>&lt;0,04</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,677</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,1652</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,109</i>	<i>&lt;0,1</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,2296</i>	<i>0,0473</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,262</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,7716</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1046</i>	<i>&lt;0,1</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,143</i>	<i>&lt;0,04</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1766</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>1,099</i>	<i>&lt;0,106</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1001</i>	<i>&lt;0,1</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1891</i>	<i>&lt;0,04</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,5704</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,6299</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,2874</i>	<i>&lt;0,1</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,143</i>	<i>&lt;0,04</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1766</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>1,099</i>	<i>&lt;0,106</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,1001</i>	<i>&lt;0,1</i>
<i>2011</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1798</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,0661</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0247</i>	<i>&lt;0,0002</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,097</i>	<i>0,0003</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,1827</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,0825</i>	<i>&lt;0,1</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0301</i>	<i>&lt;0,0002</i>




		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,105</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,2371</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1579</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0807</i>	<i>0,000439</i>	
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,105</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,6682</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,3675</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0538</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,608</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,2371</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0,1579</i>	<i>&lt;0,1</i>	
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,0807</i>	<i>0,000439</i>	
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,105</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
<i>2012</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,03834631</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,05461824</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,09439407</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,04274608</i>	<i>&lt;0.0002</i>	<i>-</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,04780747</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,06853544</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,05088952</i>	<i>&lt;0.0002</i>	<i>-</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,04667907</i>	<i>&lt;0.0001</i>	<i>-</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,07048151</i>	<i>&lt;0.0001</i>	<i>-</i>
	<i>P5</i>	<i>OCT</i>	<i>0,04791192</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
		<i>DIC</i>	<i>0,06215963</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>1,20730072</i>	<i>&lt;0.0002</i>	<i>-</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,13770245</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,09422263</i>	<i>-</i>	<i>&lt;0.0001</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0,05088952</i>	<i>&lt;0.0002</i>	
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0,16494949</i>		<i>&lt;0.0001</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0,09712301</i>		<i>&lt;0.0001</i>
<i>2013</i>	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0.06</i>		<i>&lt;0.0001</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0.05</i>		<i>&lt;0.0005 a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0.05 a) b)</i>		<i>&lt;0.0002 a) b)</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0.11 a) b)</i>		<i>&lt;0.0002 a) b)</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0.05</i>		<i>&lt;0.0005</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0.06 a) b)</i>		<i>&lt;0.0005 a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0.03 a) b)</i>		<i>&lt;0.0002 a) b)</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	<i>0.03</i>		<i>&lt;0.0001</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	<i>0.05</i>		<i>0.0001</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	<i>0.07 a) b)</i>		<i>0.0005</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	<i>0.03 a) b)</i>		<i>&lt;0.0002 a) b)</i>

		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.03		<0.0001
	<i>P5</i>	<i>28-jun-13</i>	0.20 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>30-sep-13</i>	0.09 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
		<i>23-dic-13</i>	0.03		<0.0001
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.10		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.24 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.28 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.18 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.13		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.24 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.2 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.28 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
2014	<i>P1</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.09		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.1		<0.0001
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.06		<0.0001
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.11 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P2</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.1		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	1.2 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.08		<0.0001
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.11 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P4</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.14 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.83 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.06		<0.0001
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.14 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P5</i>	<i>29-mar-14</i>	0.1		<0.0001
		<i>27-jun-14</i>	0.46 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>26-sep-14</i>	0.16		<0.0001
		<i>29-dic-14</i>	0.13 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P6</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.16		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.34 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.18		<0.0001
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.33 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
	<i>P7</i>	<i>ENE-FEB-MAR</i>	0.24		<0.0001
		<i>ABR-MAY-JUN</i>	0.29 <i>a) b)</i>		<0.0005 <i>a) b)</i>
		<i>JUL-AGO-SEP</i>	0.16		<0.0001
		<i>OCT-NOV-DIC</i>	0.36 <i>a) b)</i>		<0.0002 <i>a) b)</i>
2015	<i>P3</i>	<i>25/2/2015</i>	0.13		<0.0002 <i>b) c)</i>
		<i>31/3/2015</i>	0.12	0.0017	<0.0001
		<i>26/6/2015</i>	0.1	<0.001 <i>a)</i>	<0.0002 <i>a) b)</i>
				<i>b)</i>	

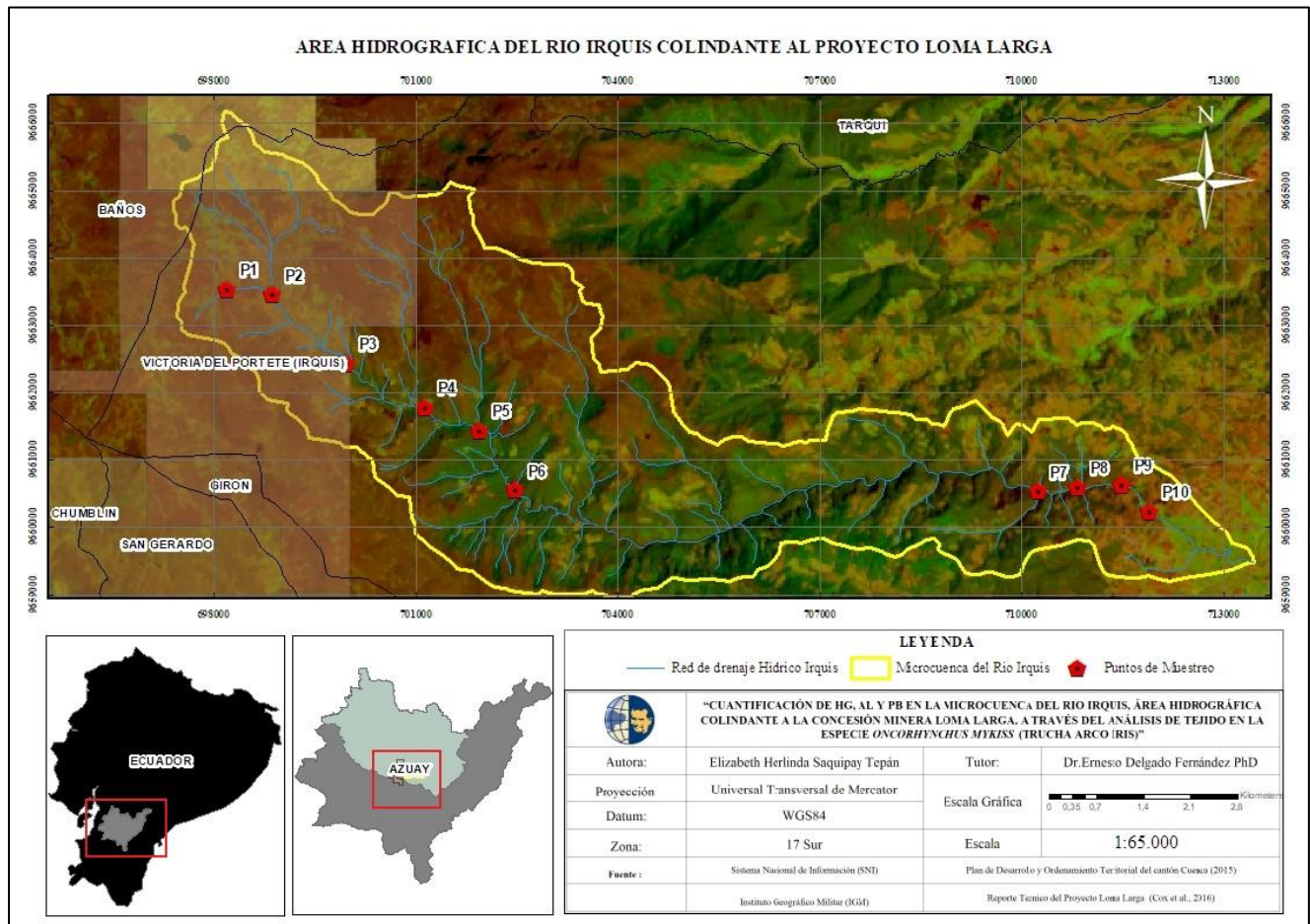


		30/9/2015	<0.02	<0.001 a) b)	<0.0002 a) b)
		23/12/1915	0.01	<0.0005	<0.0001
	P5	25-feb-15	0.17 b) c)	-	<0.0002 b) c)
		31-mar-15	0.09	0.0011	<0.0001
		26-jun-15	0.06	0.0007	<0.0001
		30-sep-15	0.01	<0.0005	<0.0001
		23-dic-15	<0.01	<0.0005	<0.0001
2016	P3	30/3/2016	0.1	0.0012	<0.0001
		28/6/2016	0.64	<0.001 c) d)	<0.0002 c) d)
		30/9/2016	0.05	<0.0005	<0.0001
		21/12/1916	0.06	0.0013	<0.0001
	P5	30-mar-16	0.07	0.0009	<0.0001
		28-jun-16	0.11	0.0023	<0.0001
		30-sep-16	0.03	<0.0005	<0.0001
		21-dic-16	0.05	0.0013	<0.0001
2017	P3	31/3/2017	0.36	0.0086 ll) n)	<0.0002 ll) n)
		22/6/2017	0.1	<0.0005	<0.0001
		27/9/2017	0.08	<0.0005	<0.0001
		29/12/1917	0.05	0.0016	<0.0001
	P5	31-mar-17	0.1	<0.0005	<0.0001
		22-jun-17	0.12	<0.0005	<0.0001
		27-sep-17	0.1	0.0006	<0.0001
		29-dic-17	0.04	0.0009	<0.0001

## Anexo 2. Respuesta de MAE ante solicitud de Autorización de Investigación

<p style="text-align: center;">MINISTERIO DEL AMBIENTE</p> <p style="text-align: center;">  </p> <p style="text-align: right;"><b>Oficio Nro. MAE-CGZ6-DPAC-2019-0808-O</b> <b>Cuenca, 30 de mayo de 2019</b></p> <p><b>Asunto:</b> Enviando pronunciamiento referente a Investigación sobre metales pesados en trucha.</p> <p>Señora Elizabeth Herlinda saquipay Tepan En su Despacho</p> <p>De mi consideración:</p> <p>En respuesta al oficio s/n de fecha 23 de mayo del año en curso, registrado mediante Documento No. MAE-CGZ6-DPAC-2019-1270-E, sobre la investigación con trucha arco iris: "CUANTIFICACION DE HG, AL Y PB EN LA MICROCUENCA DEL RIO IRQUIS, AREA HIDROGRAFICA COLINDANTE A LA CONCESION MINERA LOMA LARGA". Al respecto me permito informar:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Considerando la descripción de Vida Silvestre del Art. 144 del Libro IV del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA): <i>"Son todos los organismos vivos nativos del Ecuador (indígenas, endémicos y migratorios), sin distinción de categoría taxonómica (animales, plantas, monera, protistas y hongos) y tipo de hábitat (terrestre, acuático y aéreo), que mantienen o mantuvieron al menos una población en estado natural (no domesticada o modificada)"</i>.</li><li>2. Al ser la trucha (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), una especie de vida silvestre NO NATIVA de nuestro país, <b>NO es necesario contar con la Autorización de Investigación otorgada por esta Cartera de Estado</b>, la cual aplica únicamente para especies nativas de Ecuador según el Art. 6 del Título II del Libro IV del TULSMA</li></ol> <p>Particular que pongo en su conocimiento para los fines pertinentes.</p> <p>Con sentimientos de distinguida consideración.</p> <p>Atentamente,</p>
--

### Anexo 3. Puntos de muestreo



#### Anexo 4. Materiales de Campo

- Cooler
- Fundas Ziploc
- Hojas de bisturí # 23
- Guantes
- Balanza Digital
- Regla
- Tabla de medición
- Red de pesca (Atarraya)
- Marcadores para etiquetado
- Agua Destilada

#### Anexo 5. Materiales y reactivos de laboratorio

- Ácido Nítrico al 69%
- Papel filtro Macherey-Negel
- Balones de aforo de 50 ml, 100 ml, 1000 ml y 250 ml
- Mandil, guantes y mascarilla
- Balanza Analítica
- Mortero
- Lunas
- Anotes y marcadores
- Pipetas
- Peras
- Micro pipetas

