



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
MAESTRÍA EN MANEJO SUSTENTABLE DE
BIORRECURSOS Y MEDIO AMBIENTE

“TRABAJO DE TITULACIÓN ESPECIAL”
PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN
“MANEJO SUSTENTABLE DE BIORRECURSOS Y MEDIO
AMBIENTE”

“CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LA ESPECIE *Gerres*
simillimus (Regan, 1907) EN LOS ESTEROSTRES BOCAS Y
MONGÓN”

AUTOR: RAMÓN ENRIQUE RODRÍGUEZ SUÁREZ.
TUTOR: BEATRIZ MARGARITA PERNÍA SANTOS.

GUAYAQUIL – ECUADOR
OCTUBRE. 2020

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

“CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LA ESPECIE *Gerres simillimus* (Regan, 1907) EN LOS ESTEROS TRES BOCAS Y MONGÓN”

AUTOR:

RAMÓN ENRIQUE RODRÍGUEZ SUÁREZ.

TUTOR:

BEATRIZ MARGARITA PERNÍA SANTOS

REVISORES:

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD:

CIENCIAS NATURALES

CARRERA:

FECHA DE PUBLICACIÓN:

No. DE PÁGS: 59

TÍTULO OBTENIDO:

BIOLOGO

ÁREAS TEMÁTICAS: Contaminación

PALABRAS CLAVE:

Metales pesados; Plomo; *Gerres simillimus*; contaminación.

RESUMEN:

La contaminación por metales pesados es una problemática que va en aumento debido principalmente a las actividades antrópicas. Entre los principales contaminantes que afectan al ambiente se encuentra el plomo por ser tóxico para la fauna, la flora y los humanos. El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de plomo en agua, sedimento y en la especie *Gerres simillimus*, de los Esteros Tres Bocas (ETB) y Mongón en los años 2014 y 2019. Para ello, se colectaron muestras de agua, sedimento y peces de los Esteros por triplicado en los años 2014 y 2019. Las muestras se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Las concentraciones de plomo en agua no fueron detectables en el año 2014

pero sí en el 2019, indicando un aumento en la contaminación. En el año 2019 en el ETB la concentración de Pb fue de $0,003\pm 0,002$ mg/L y en Mongón de $0,002\pm 0,001$ mg/L en agua, superando los límites máximos permisibles (LMP) para la preservación de la flora y fauna. Por otro lado, la concentración de plomo en sedimento se incrementó en el ETB de $3,9\pm 0,00$ mg/kg a $9,00\pm 0,16$ mg/Kg en el 2019. En el Estero Mongón la concentración fue de $4,30\pm 0,00$ en el 2014 y de $8,70\pm 1,11$ mg/kg en el 2019. En cuanto a la concentración de plomo en el tejido muscular de los peces, los machos presentaron una mediana de 0,025 mg/kg y las hembras 0,031 mg/kg de Pb, todos por debajo del LMP para consumo humano.

Aunque en los peces aún no se supera el LMP de plomo se evidencia un incremento en la concentración de este metal en agua y sedimento, lo que podría conllevar a un problema de salud pública.

No. DE REGISTRO	No. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL		
ADJUNTO PDF:	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES	Teléfono: 0994044579	E-mail: ramon_rodriguez12@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Nombre:	
	Teléfono:	
	E-mail:	

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante RAMÓN ENRIQUE RODRÍGUEZ SUÁREZ, del Programa de Maestría/Especialidad MAESTRÍA EN MANEJO SUSTENTABLE DE BIORRECURSOS Y MEDIO AMBIENTE, nombrado por el Decano de la Facultad de Ciencias Naturales CERTIFICO: que el estudio de caso del examen complejo titulado **CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN LA ESPECIE *Gerres simillimus* EN LOS ESTEROS TRES BOCAS Y MONGÓN**, en opción al grado académico de Magíster (Especialista) en MANEJO SUSTENTABLE DE BIORRECURSOS Y MEDIO AMBIENTE, cumple con los requisitos académicos, científicos y formales que establece el Reglamento aprobado para tal efecto.

Atentamente



Firmado electrónicamente por:

**BEATRIZ
MARGARITA
PERNIA SANTOS**

Beatriz Pernía Santos, Ph.D.

TUTOR

Guayaquil, octubre de 2020

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a la doctora Beatriz Pernía Santos por el gran apoyo y colaboración para el presente trabajo, a mis padres por el apoyo brindado y cada uno de mis amigos que colaboraron en la recolección de las muestras.

DEDICATORIA

A mis padres por todo el apoyo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación especial, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

FIRMA

NOMBRE DEL AUTOR

ABREVIATURAS

- Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)
- Instituto Nacional de Pesca (INP)
- Cadmio (Cd)
- Oficina de Planificación de la Presidencia (ODEPLAN)
- Estero Tres Bocas (ETB)
- Límite Máximo Permitido (LMP)
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULMA)

Índice de contenido

Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
Justificación:	17
Objeto de estudio:.....	17
Campo de acción o de investigación:	18
Objetivo general:	18
Objetivos específicos:	18
La novedad científica:.....	18
Capítulo 1 MARCO TEÓRICO	19
1.1 Teorías generales.....	19
1.1.1 Metales pesados.....	19
1.1.2 Plomo.....	20
1.1.3 Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación.....	21
1.2 Teoría sustitutiva.....	22
1.2.1 <i>Gerres simillimus</i>	22
1.2.2 Metales pesados en peces.....	23
1.2.3 Límite máximo permitido de concentración de plomo en peces agua y sedimentos.....	27
1.2.3.1 Legislación nacional.....	27
1.2.3.2 Legislación internacional	27
1.3 Referentes empíricos.....	28
1.3.1 Presencia de plomo en aguas oceánicas del Ecuador	28
1.3.2 Metales pesados en peces del Ecuador	30
Capítulo 2 MARCO METODOLÓGICO	3
2.1 Área de estudio:	33
2.2 Captura de ejemplares de la mojarra <i>Gerres simillimus</i>	35
2.3 Cuantificación de la concentración de plomo en tejido muscular del <i>Gerres</i> : <i>¡Error! Marcador no definido.</i> <i>simillimus</i>	36
2.4 Determinación de plomo en agua y sedimento.....	37
2.5 Análisis estadístico.....	38

2.6	Premisa o Hipotesis.....	38
2.7	CDIU – Operacionalización de variables.....	38
Capítulo 3 RESULTADOS		40
3.1	Talla de la especimenes de <i>Gerres simillimus</i>	40
3.2	Cuantificación de la concentración de plomo en tejido muscular de <i>Gerres Simillimus</i>	41
3.3	Concentración de plomo en el agua de los Esteros Tres Bocas y Mongon.....	42
3.4	Concentración de plomo en sedimentos de los Esteros Tres Bocas y Mongón.	42
3.5	Análisis de correlación de la concentracion de Pb por Talla de los peces y la concentración del metal en agua y sedimento.....	43
Capítulo 4 DISCUSIÓN		45
4.1	Contrastación empírica:.....	45
4.2	Limitaciones:.....	50
4.3	Líneas de investigación:.....	51
4.4	Aspectos relevantes.....	51
Conclusiones		52
Recomendaciones.....		53
Bibliografía		54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterio de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulces, en aguas marinas y de estuarios	27
Tabla 2. Criterio de calidad admisibles para la preservación del suelo.....	35
Tabla 3. Diseño experimental	36
Tabla 4. Variable del estudio	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo	34
Figura 2. Talla de los peces hembras y machos en los años 2014 y 2019 en los Esteros Tres Bocas y Mongón.....	40
Figura 3. Concentración de plomo en el tejido muscular de <i>Gerres simillimus</i> capturados en los Esteros Tres Bocas y Mongón.....	41
Figura 4. Concentración de plomo en el agua de los Esteros Tres Bocas y Mongón.....	42
Figura 5. Concentración de plomo en el sedimento de los Esteros Tres Bocas y Mongón.....	43
Figura 7. Análisis de componente principal para la variable talla, Pb en sedimento y Pb en músculos.....	44

Resumen

Entre los principales contaminantes que afectan al ambiente se encuentra el plomo por ser tóxico para la fauna, la flora y los humanos. El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración de plomo en la especie *Gerres simillimus*, de los Esteros Tres Bocas (ETB) y Mongón en los años 2014 y 2019. Para ello, se colectaron muestras de agua, sedimento y peces de los Esteros por triplicado. Las muestras se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. En cuanto a la concentración de plomo en el tejido muscular de los peces, los machos presentaron una mediana de 0,025 mg/kg y las hembras 0,031 mg/kg de Pb, todos por debajo del LMP para consumo humano. A fin de encontrar la fuente de contaminación de Pb para los peces se midió este metal pesado en agua y sedimentos. Las concentraciones de plomo en agua no fueron detectables en el año 2014 pero sí en el 2019, indicando un aumento en la contaminación. En el año 2019 en el ETB la concentración de Pb fue de $0,003 \pm 0,002$ mg/L y en Mongón de $0,002 \pm 0,001$ mg/L en agua, superando los límites máximos permisibles (LMP) para la preservación de la flora y fauna. Por otro lado, la concentración de plomo en sedimento se incrementó en el tiempo, sin superar los LMP. Aunque en los peces no superaron los límites, se evidenció correlación con el contenido de Pb en los sedimentos, mismo que está aumentando en el tiempo, lo que podría conllevar a un problema de salud a futuro, en los consumidores de *Gerres simillimus*.

Palabra clave: metales pesados; plomo; *Gerres simillimus*; contaminación.

ABSTRACT

Lead is among the main pollutants in the environment as it is toxic to fauna, flora and humans. The objective of this study was to determine the lead concentration in the species *Gerres simillimus*, from Esteros Tres Bocas (ETB) and Mongón in the years 2014 and 2019. For this, samples of water, sediment and fish were collected from the Esteros in triplicate. The samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry with a graphite furnace. Regarding the concentration of lead in the muscle tissue of fish, males have a median of 0.025 mg/kg and females 0.031 mg/kg of Pb, everything below the MPL for human consumption. In order to find the source of Pb contamination for fish heavy metal was measured in water and sediment. Lead concentrations in water were not detectable in 2014 but they were in 2019, indicating an increase in pollution. In 2019 in ETB the concentration of Pb was 0.003 ± 0.002 mg/L and in Mongón 0.002 ± 0.001 mg/L in water. Exceeding the maximum permissible limits (LMP) for the preservation of flora and fauna. Another way, lead concentration in sediment increased over time, without exceeding the LMP. Although the fish didn't exceed the limits. Correlation with Pb content in sediments was evidenced, which is increasing over time and could lead to a health problem in the future with *Gerres simillimus* consumers.

Keywords: Heavy metals; Lead; *Gerres simillimus*; contamination.

Introducción

La contaminación por metales pesados es una problemática que va en aumento debido principalmente a las actividades antrópicas. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentra la minería la metalurgia, la agricultura, los automotores y el aporte natural de ciertos acuíferos (Covarrubias & Peña, 2017). La FAO en el 2000 indicó que los metales pesados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, lo que hace inevitable su presencia en todo ser vivo.

Estos metales logran ingresar a los ecosistemas acuáticos de diversas fuentes sean estas naturales o antropogénicas donde se incluyen las aguas residuales domesticas e industriales, lixiviación de vertederos, basureros y depósitos atmosféricos (Forstner & Wittman, 1983).

En los organismos acuáticos la captación y toxicidad de los metales pesados son influenciadas no solo por la concentración sino también por el tiempo de exposición a estos elementos y a los factores bióticos y abióticos del ambiente (Castañe, Topalián, Cordero, & Salibián, 2003). Así mismo, elementos como cadmio, cromo, cobre y plomo causan efectos indeseables en el metabolismo, aún en concentraciones bajas y su toxicidad depende de la dosis en que se ingiera, así como de su acumulación en el organismo (FAO, 2000).

Maldonado et al. (2015), indican que los metales pesados pueden afectar a los ecosistemas acuáticos y presumen un peligro para los peces consumidores y consecuentemente, para los otros niveles de la cadena trófica. Otros autores nos revelan que los metales pesados por sus características toxicológicas y de conformidad con el tiempo y el tipo de exposición, pueden causar efectos agudos y crónicos, los cuales se pueden depositar en algunos órganos del cuerpo y estos pueden permanecer por

períodos prolongados, generando a largo plazo efectos negativos a la salud (Combariza, 2009).

Dentro de los metales pesados el plomo es un componente natural de la corteza terrestre que se encuentra en suelos, plantas y agua a niveles traza (Marrugo, 2011), sin embargo, cuando se encuentra en altas concentraciones afecta la salud de los organismos y de los humanos. En este sentido, se ha descrito que en los niños el consumo de peces contaminados con plomo, puede afectar su síntesis de la hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso central. Las intoxicaciones agudas por plomo se acompañan de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y el coma (Rodríguez, 2017). El mismo autor hace referencia a la intoxicación crónica que puede implicar neuropatía, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteración de comportamiento y renales, aminoaciduria, glucosuria, nefritis crónica, encefalopatía, irritabilidad, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos, y alteraciones hepáticas, si estos logran vivir con una intoxicación grave por plomo estos quedan con secuelas como retraso mental o trastorno de conducta (Rodríguez, 2017).

Además, Ascona, Ramírez & Vicente, 2015 en Needleman (2004) mencionan que la exposición al plomo puede afectar adversamente a los sistemas, inmunológicos, reproductivo, cardiovasculares y sistema nervioso central y periférico, así como interferencias en el sistema enzimático implicados en la síntesis del grupo hemo (Rubio, et al., 2004).

A nivel de los peces, según Burger & Gochfeld, (2005) estos tienden a acumular metales pesados en sus tejidos. Para cada metal traza, los sitios de acumulación en

tejidos de los peces pueden variar según su vía de absorción y con la intensidad y duración de la absorción (Ciardullo et al., 2008).

En los peces el plomo se acumula de la misma forma que en humanos y afecta básicamente a los mismos órganos y tejidos y su acción es más observada en estados inmaduros como en la etapa de alevines (Tulasi, Reddy, & Ramana, 1989). En peces, se ha reportado que la exposición al plomo impide la captación de oxígeno por las branquias debido a la excesiva producción de moco, que la recubre y la aísla. En los expuestos a su incidencia se ha relacionado con inmunodepresión. También se ha descrito que la exposición a plomo por largo período de tiempo en peces induce a efectos subletales en la morfología e inhibe la acción de las enzimas como la delta-ALAD, así como infertilidad, daños musculares y formaciones tumorales (Patte & Deborah, 2002).

En Ecuador se ha descrito contaminación por plomo en agua y sedimento del Estero Salado (Fernández et al., 2014; Pernía et al., 2018), sin embargo, se desconoce si este metal pesado se está acumulado en los peces de consumo humano. En este sentido, la mojarra *Gerres simillimus* es una especie que pertenece a la familia Gerreidae, presenta una importancia ecológica y económica en la zona marino costera y se ha descrito su captura para el consumo en la población de Puerto Hondo, que colinda con el Estero Tres Bocas y el Estero Mongón pertenecientes al Estero Salado (Castro, 2017).

Es por ello que, el objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de plomo en la especie *Gerres simillimus*, capturados en los Esteros Tres Bocas (ETB) y Mongón en los años 2014 y 2019.

Justificación

Los peces son parte fundamental en la dieta alimenticia del ser humano debido a los niveles altos de proteínas, bajo niveles de grasas saturadas y alto contenido de omega 3, sin embargo, son capaces de acumular metales pesados, representando un riesgo para la salud (Maldonado, et al., 2015).

En Ecuador existen evidencias de contaminación por plomo en agua, sedimentos y bivalvos del Estero Salado, sin embargo, se desconoce si este metal se está acumulando en los peces. Para este estudio se seleccionó la especie *Gerres simillimus* por su alto valor comercial en las poblaciones locales cercanas al estero, con la finalidad de evidenciar la presencia de plomo en la parte comestible de los peces y su potencial riesgo para la salud de las comunidades ancestrales de los alrededores de dichos esteros.

Cabe mencionar que la presente investigación se analizó el contenido de plomo en el musculo de la mojarra debido a que según Sivaperumal, Sankar, & Wanathan (2007), los tejidos musculares de los peces son los más utilizados para realizar estudios de metales pesados ya que este tejido puede almacenar metales trazas y es la parte más comestibles del pescado. También se analizó la correlación peso talla de los especímenes con el contenido del metal para verificar si existía mayor concentración de plomo en peces de mayor tamaño y finalmente se buscó la fuente de contaminación en agua y sedimento.

Objeto del estudio

Se tomó como objeto de estudio la mojarra *Gerren simillimus* por ser pez de alto consumo en las comunidades del sector, la mojarra es una especie que tiene una dieta alimenticia basados en crustáceos bentónicos, bivalvos bentónicos, gusanos bentónicos, la cual podría ser su fuente de contaminación la cual podría acarrear en un asunto de

salud pública, ya que esta especie es de un alto valor comercial y alimenticio en las comunidades del sector de dichos esteros.

Campo de acción o de investigación

Objetivo generales

- Determinar la concentración de plomo (Pb) en *Gerres simillimus*, en los esteros Mongón y Tres Bocas en los años 2014 y 2019.

Objetivos específicos

- Capturar especímenes de diferentes tamaños y sexos de la especie *Gerres simillimus* en los esteros Mongón y Tres Bocas.
- Cuantificar la concentración de plomo en tejido muscular de *Gerres simillimus*
- Determinar la concentración de plomo agua y sedimento en los esteros Mongon y Tres Bocas, con la finalidad de identificar la fuente de contaminación de los peces.
- Realizar un análisis de correlación de la concentración de Pb por talla de los peces y la concentración del metal en agua y sedimento.

Novedad científica

Este estudio representa el primer análisis de plomo en la especie *Gerres simillimus* a nivel del estero Salado.

Capítulo 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Teorías generales

1.1.1 Metales pesados

Se determina como “metal pesado” al elemento químico que muestra una densidad similar o mayor a 5 g cm^{-3} en estado natural, o cuyo número atómico sea mayor a 20 (exceptuando a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su representación en la corteza terrestre es menor al 0,1% y casi siempre por debajo del 0,01 % sin embargo, en primer lugar, tendríamos que ponernos de acuerdo para aclarar que el término “metal pesado” es indeterminado (Navarro, Aguilar, & López, 2007).

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA) define como tales a los metales de número atómico elevado, como cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo, y zinc, entre otros, que son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación (TULSMA 2017).

Navarro, Aguilar, & López, (2007) indican que se pueden determinar a los metales pesados en dos clases:

- Micronutrientes u Oligoelementos, los cuales son indispensables en mínimas medidas para los organismos, pero que se tornan tóxicos si sobrepasan el límite admisible.

Comprenden, además: Mn, Ni, Se, As, B, Co, Cr, Cu, Mo y Zn.

- Elementos que no cumplen o no se les conoce función biológica alguna dentro de los organismos y son altamente tóxicos. Incluyen Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi.

Los metales pesados tienen 3 vías principales de entrada a los sistemas acuáticos:

- Vía atmosférica, se efectúa por la sedimentación de partículas expuestas a la atmósfera por métodos naturales o antropogénicos.
- Vía terrestre, Son producidas por filtraciones de vertidos o de la escorrentía superficial de suelos contaminados (minas, lixiviación de residuos sólidos, entre otros) y otras causas naturales.
- Vía directa, causados por los vertidos directos de aguas residuales, industriales y urbanas a las fuentes hídricas (Mero, 2010).

1.1.2 Plomo (Pb)

El plomo presenta un número atómico 82, peso atómico 207,2 u, densidad, 11,34 g/cc, se funde a 327,430 °C, es un metal de color gris azulado, blanco, maleable, fácil de fundir que se opaca fácil con el aire (Cano, 1993).

El plomo es un metal de origen natural de color grisáceo, dicho elemento se puede encontrar de forma orgánica o inorgánica. Los principales compuestos inorgánicos se presentan como arseniatos, carbonatos, cromatos, cloruros, dióxidos, fosfatos, o monóxidos, de plomo y los compuestos orgánicos más comunes son acetato, estearato, oleato, tetraetilo y tetrametilo de plomo. Este metal es absorbido por ingesta, inhalación y por vía dérmica, el grado de intoxicación dependerá de factores como la edad, el estado nutricional, enfermedades previas y la forma de presentación del plomo (Arroyave et al., 2008).

Los efectos nocivos de este metal fueron definidos hace más de 2000 años y a pesar de ello continúa siendo un problema gubernamental, debido a que estos metales pueden afectar casi a todos los órganos y sistemas del organismo (Marrugo, 2011). El plomo tiene una capacidad de bioacumularse en plantas y animales donde se magnifica a lo

largo de la cadena alimentaria (Rubio et al., 2004; Halliwell, Turoczy, & Stagnitti, 2000).

En la era de la Revolución Industrial se incrementó la intoxicación por plomo donde se convirtió en un problema de salud pública, hoy en día sin embargo preocupa principalmente la exposición alimentaria a este metal (Rubio, et al, 2004).

El plomo es perjudicial para la mayor parte de los sistemas del cuerpo, estas partículas de plomo interfieren con el metabolismo y la función celular. Concentraciones elevadas de este metal tienen efectos perjudiciales sobre los sistemas hematopoyéticos, hepáticos, renales reproductivos y gastrointestinales (Jiménez et al., 1993).

Donalizio (1981) enuncia que hay dos formas de riesgos de exposición al plomo:

- La exposición directa o la profesional que puede conllevar a la producción de una enfermedad profesional: el saturnismo.
- Y la de la población en general originada en la contaminación ambiental (aire, suelo, agua y alimentos).

La vida media del plomo en el organismo es variable, esto depende de donde se encuentre alojado; de 3 a 4 semanas si el metal se encuentra en la sangre; 4 semanas si está depositado en tejidos blandos y finalmente de 20 a 27 años si está en los tejidos óseos (Arroyave et al., 2008).

1.1.3 Bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación

Las Naciones Unidas (2005) define como bioacumulación a la propiedad específica de las sustancias químicas que establecen un riesgo potencial para el ambiente. La bioacumulación en un organismo de una sustancia no admite un peligro por sí misma, pero la bioconcentración y bioacumulación implican una carga corporal que obtendrán efectos tóxicos a largo plazo. La bioconcentración se especifica como

la consecuencia neta de la absorción, transformación y excepción de una sustancia en un organismo, como resultado de la manifestación por vía acuática; mientras que la bioacumulación comprende todas las fuentes de exposición (aire, agua, sedimentos/suelo y alimentos).

Cabe indicar, que la biomagnificación mediante la alimentación se define como la acumulación y transferencia de sustancias, produciéndose un aumento de las concentraciones internas en los organismos ubicados en los eslabones más altos de la cadena trófica (ONU, 2005).

1.2 Teoría sustitutivas

1.2.1 *Gerres simillimus*

Esta especie fue identificada por Robertson y Allen en el 2006 como *Gerres simillimus* que considera a las especies del Atlántico y las especies del Pacífico las cuales son independientes, sin embargo, también se conocen como *Gerres peruvianus* (Cotto, Acero, & Rojas, 2010).

A continuación, se describe a la especie conocida como mojarra blanca o mojarra rallada: peces con aletas radiales, especie marina de aguas salobres asociada a arrecifes con un rango de profundidad de 0-30 m, su distribución es desde México (desde el sur de Baja California) hasta Perú y las Islas Galápagos. Tiene una longitud máxima de 41.0 cm LT en el macho. Tiene 9 espinas dorsales; 10 rayos blandos dorsales; 2 espinas anales; 7 rayos blandos anales, cuerpo de color blanco plateado con 8 barras oscuras tenues a los costados las aletas pélvicas y anales; son de color amarillentas; boca altamente extensiva, apuntando hacia abajo cuando sobresale; el borde inferior del preopérculo es liso, el hueso debajo del frente del ojo con el borde liso, grandes escamas conspicuas y finalmente rugosa, que cubre la mayor parte de la cabeza y el cuerpo (Froese & Pauly, 2019).

Habita en fondos de arena adyacentes a los arrecifes y también en estuarios salobres. Según la UICN la especie no tiene amenazas conocidas y está en Preocupación menor (LC). Según el CITES está en categoría de no evaluado, no tiene medidas de conservación y esta especie es importante en algunas pesquerías de subsistencia (Froese & Pauly, 2019).

Es una especie muy común, se adapta a climas subtropicales, tropical norteño y templado sureño, posee una dieta de gusanos móviles bentónicos; crustáceos móviles bentónicos (cangrejos y camarones); gasterópodos bivalvos móviles bentónicos e insectos (Froese & Pauly, 2019).

1.2.2 Metales pesados en peces

Los moluscos, como organismos filtradores y los peces tienden a acumular metales pesados en sus tejidos (Burger & Golchfeld, 2005). Para cada elemento traza los sitios de acumulación en los peces puede variar según la vía de absorción, con la intensidad y duración de la exposición a dichos metales (Ciardullo et al., 2008)

Los metales pesados pueden entrar en los peces por tres posibles vías: a través de las branquias consideradas como la vía más directa e importante; a través de la ingestión de comida y por último y con una importancia menor, a través de la superficie corporal (Amundsen et al., 1997). Cabe mencionar que el plomo tiene la capacidad de acumularse más en el hígado, branquias, menos en riñones y también poco en músculo (García, 2002).

Establier (1977) indica que el efecto tóxico de algunos metales sobre los animales marinos se conoce desde hace mucho tiempo. Cuando los metales son acumulados por organismos acuáticos pueden ser transferidos hacia arriba en la cadena alimenticia. Los carnívoros que están en la parte más alta de la cadena alimentaria, incluido los

seres humanos obtienen la mayoría de las cargas de metales pesados del ecosistema acuático a través de la alimentación, donde especialmente los peces muestran un gran potencial de biomagnificación (Cumbie, 1975).

En los peces el plomo se acumula de la misma forma que en humanos y afecta básicamente a los mismos órganos y tejidos y su acción es más observada en estados inmaduros como en la etapa de alevines (Tulasi, Reddy, & Ramana, 1989). En peces, se ha reportado que la exposición al plomo impide la captación de oxígeno por las branquias debido a la excesiva producción de moco, que la recubre y la aísla. En los organismos expuestos al plomo se ha relacionado con inmunodepresión. También se ha descrito que la exposición a plomo por largo periodo de tiempo en peces induce a efectos subletales en la morfología e inhibe la acción de las enzimas como la delta-ALAD, así como infertilidad, daños musculares y formaciones tumorales (Patte & Deborah, 2002).

Por su parte, García (2002) indica que el Pb en su acción tóxica también produce una prolongada diversidad de efectos biológicos en numerosos procesos bioquímicos a nivel subcelular. Por su similitud química con el calcio, se interpone a nivel mitocondrial en procesos que regulan la energética celular.

En este sentido, Cedeño (2016), indica que en los organismos elementos divalentes como el cadmio y el plomo pueden ser simulados como elementos esenciales como: magnesio, calcio, hierro, cobre o zinc y actuar de manera equivalente.

Los iones pueden obtener una hibridación a otros compuestos químicos como las biomoléculas, enzimas y ácidos nucleicos perturbando las actividades normales de los organismos, logrando también producir radicales libres que perjudican a las moléculas celulares críticas.

Por otro lado, Jennette (1981) indica que, tanto en experimentos de laboratorios, ensayos cometa (electroforesis Alcalina de Células Individuales), ensayos de aberraciones cromosómicas en ensayos de micronúcleos, en tejido renal de peces *Hoplías malabaricus* expuestos durante 2 meses a dosis subletales de 21 mg/kg de plomo inorgánico demostró tener efectos mutagénicos, incitando a alteraciones morfológicas del núcleo.

Los peces que continuamente son expuestos a bases toxica acuosas de plomo manifiestan signos de daño en la corvadura de la columna, anemia, enturbiamiento de la región dorsal de la cola ocasionando un resultado de cola oscura debido a la pérdida selectiva de los cromatóforos sin embargo los melanóforos no son afectados; degradación de la aleta caudal, devastación de neuronas de la medula, cohibición del sistema ALAD en los eritrocitos, el bazo, el hígado y los tejidos renales, disminución de la capacidad natatoria frente a los torrentes, se merma el epitelio respiratorio, concentraciones mayores de Pb en la sangre, en los huesos, las branquias, hígado, riñón, atrofia muscular, parálisis, patología renal, inhibición del crecimiento, retardo del estadio sexual, alteración química de la sangre, histopatología de testículos de ovarios y como consecuencia la muerte (Eisler, 1988).

También, Roberts (2012) sugiere que las enfermedades ocasionadas por metales pesados fluctúan de acuerdo a la exposición y persistencia, así como elementos de subsceptibilidad inherentes al organismo los cuales no son objetos de un análisis integro salvo se solvente con evidencia histórica o analítica. El mismo autor considera concentraciones máyores de Cd para peces de 0,04 µg/L, con dureza menor de 100 mg/L, en el ambiente que se desenvuelvan; mientras que para el Pb el valor es de 0,03 mg/L. El autor señala que la bioacumulación de Pb ocasiona malformaciones en la disposición ósea y modificaciones del sistema nerviosa central

Por otro lado, Barros, Doria, & Marrugo (2016) determinaron la influencia contaminante de metales pesados proveniente de fuentes antropogénicas, sobre la biota marina de las costas de la Guajira (Colombia). Analizaron contenido de plomo, cadmio, níquel, zinc y mercurio en hígado de peces de la especie *Lutjanus* donde los resultados mostraron las siguientes concentraciones: Pb (65 µg/Kg), Cd (5,1 µg/Kg), Ni (2500µg/Kg), Zn (2450µg/Kg) y Hg (49µg/Kg).

Barraza, Recavarren, & Sanzano (2018) señalan en su trabajo análisis cuantitativo de metales pesados en pescados para exportación a la Unión Europea determinaron arsénico, cadmio, mercurio y plomo en especies de merluza austral y pescadilla, las cuales fueron analizadas con tres métodos para cuantificar metales pesados, por método de horno de grafito, el de llama y el método de vapor frío; los resultados del estudio indicaron que las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo están por debajo de los niveles máximo permitidos para el consumo humano según las normativas locales y europeas.

Por otro lado, Bertolotti & Mossetti (2018), en su estudio concentración de plomo, cadmio, mercurio en músculos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y muestras de agua procedente de río en tres localidades (A=Catac, B=Taricá y C=Palмира) de la ciudad de Huaraz (Ancash, Perú), el cual tuvo el objetivo de cuantificar la concentración de estos metales, en tres localidades de estos ríos, dando como resultado una concentración de Pb en los músculos de peces de 1,826 mg/kg, 0,321 mg/kg y 0,709 mg/kg para la zona A, B y C, respectivamente; las concentraciones de Hg fueron de 0,344 mg/kg, 0,433 mg/kg y 0,284 mg/Kg y de Cd, 0,001 mg/kg, 0,0 mg/kg y 0,002 mg/Kg, respectivamente. En las tres zonas las concentraciones de Pb estuvieron por encima de los niveles permisibles para la regulación de la Unión Europea. Las concentraciones de Pb en las muestras de agua fue 0,007 mg/L, 0,007

mg/L y 0,01 mg/L, para la zona A, B y C respectivamente. La concentración de Hg 0,063 mg/L, 0,032 mg/L y 0,171 mg/L y de Cd 0,000 mg/L para las tres zonas, en todas las zonas las concentraciones de Hg estuvieron por encima de las regulaciones de la EPA.

1.2.3 Límite máximo permitido de concentraciones de Pb en peces para agua y sedimento

1.2.3.1 Legislación nacional

En la legislación nacional del Ecuador se hace referencia a la norma NTE INEN 1896:2013 para pescado fresco y refrigerado de (producción acuícola) donde se establece un límite máximo permisible de plomo de 0,5 mg/kg en estos productos.

Por otro lado, el Ministerio de Medio Ambiente hace referencia en el Acuerdo Ministerial 097A (TULSMA, 2015), a límites máximos permisibles de plomo para la conservación de los ecosistemas acuáticos presentes en aguas dulces, marinas y estuarinos (Ver tabla 1).

Tabla 1 *Criterio de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en agua dulces, en aguas marinas y de estuarios y de calidad admisibles para la preservación del suelo. Texto unificado de Legislación secundaria (Ministerio de Medio Ambiente).*

Metal	Símbolo	Unidad	Agua Dulce	Aguas Marinas y Estuarios	Suelo
Plomo	Pb	mg/L	0,001	0,001	19

Fuente: Acuerdo Ministerial 097A (2015)

1.2.3.2 Legislación Internacional

La Unión Europea, (2019), fija un Límite Máximo Permitido (LMP) de plomo de 0,3 mg/kg para carne de pescado en peso fresco, en general con algunas excepciones. El 19 de diciembre del 2006 por medio del reglamento CE 1881-2006, se establece

un parámetro en la concentración de plomo de 0,30 mg/kg de peso fresco para la pulpa del pescado, en este documento se refiere como un límite tolerable para el consumo semanal de 25 µg/kg de peso corporal (UE, 2006).

Por otro lado, el Codex Alimentarius en la enmienda del 2015, establece un (LMP) de 0,3 mg/kg en todos los productos habituales después de la extracción del tracto digestivo.

La Agencia de protección ambiental en Estados Unidos (EPA), en su página web no constituye referencia alguna para la ingesta de alimentos que contengan dicho metal, cabe recalcar que la EPA no establece LMP para los contenidos de plomo en peces, sin embargo, resuelve dichos límites para envases contenedores de alimentos (EPA, 2013).

1.3 Referentes empíricos

1.3.1 Presencia de plomo en aguas oceánicas del Ecuador

Con respecto a la concentración de plomo, Alcívar & Mosquera, (2011) en el año 2010 realizaron un estudio en el Estero Salado, donde determinaron concentraciones de metales pesados en agua y sedimento. Se encontró plomo con valores de 0,01 mg/L, para las muestras de agua y en sedimento encontraron valores de 13,47 mg/kg a 64,47 mg/kg. Adicionalmente, recogieron muestras de gasterópodos en donde hallaron concentraciones de plomo del 18,73 mg/kg a 41,03 mg/kg y por ello, los autores afirman que los valores reportados reflejan la problemática medio ambiental existente en este ecosistema (Alcívar & Mosquera, 2011).

En el año 2012, el Instituto Nacional de Pesca (INP) realizó estudios de caracterización ambiental para el proyecto piloto de la Subsecretaría de Acuicultura para el cultivo de Huayaipe (*Seriola rivoliana*), en el área de San Mateo (provincia de Manabí), dicho estudio reportó niveles de plomo de (0,8 mg/L) en la columna de agua

y en los sedimentos sobrepasaron los límites permisibles de acuerdo a las normativas existentes.

En los meses de julio y agosto del 2012 en el Estero salado de Guayaquil (Puente Portete) se realizaron muestreos donde se determinó concentraciones de metales pesados entre estos el plomo en agua sedimento y ostiones. En el agua se encontraron valores no detectables y en sedimentos de 13,7 a 54 mg/kg y en los ostiones entre 0,14 y 1,50 mg/kg (Jiménez, 2012).

Más adelante, en el año 2013, se llevó a cabo una investigación en el Estero Salado de Guayaquil de niveles de cadmio, cromo y plomo y su bioacumulación por *Mytella strigata*, realizado por Kuffó (2013) donde se determinó niveles altos de metales pesados en la columna de agua, que se encontraban en niveles superiores a los Niveles Máximos Permisibles establecidos por el TULSMA.

Fernández et al 2014 en su trabajo concentración de metales pesados en sedimentos superficiales de manglares de las costas de noroeste de América del sur, en dicho estudio se evaluó las concentraciones de metales pesados se evaluaron en muestras de sedimentos superficiales del manglar, mostrando que los niveles de B, Cd, Cu, Pb, Se, V y Zn superaron en lo declarado en estudios internacionales de calidad ambiental. Además, varios metales como él (Pb, Sn, Cd, Ag, Mo, Zn y Ni) podrían estar vinculados a las aguas residuales de las industrias presentes en el sector. También los metales pesados detectados en este manglar son más elevados que en trabajos anteriores sobre sedimentos de manglar en todo el mundo, lo que indica que este ecosistema de manglar es uno de los más perturbados de la tierra.

Por otro lado, Pernía, et al. (2018) indican en el trabajo realizado con financiamiento de la Senecyt que existe cadmio y plomo en aguas, sedimentos y organismos en el Estero Salado. En dicha investigación mencionan que existe evidencia de

contaminación por Cd y Pb en las aguas del Estero Salado, donde se encontró además que en los organismos gasterópodos son bioindicadores de contaminación, mismos que acumularon $2,45 \pm 0,49 \text{ mg Kg}^{-1}$ de plomo.

Pernia, et al. (2019) en su trabajo Impactos de la Contaminación sobre los Manglares del Ecuador evidencio y afirmo la teoría que los manglares funcionan como trampas de metales pesados, debido a una propagación multimetálica en los sedimentos de manglares, igualmente menciona que el excedente de fosforo y derrames de hidrocarburos, han ocasionado una mermación de la diversidad, muerte de organismos, degeneraciones en cangrejos y tumoraciones en peces. Y por lo tanto se concluye que los productos de consumo humano han bioacumulado metales pesados y coliformes fecales representando un peligro inminente para la salud humana y del ecosistema contenidos en estos manglares.

1.3.2 Metales pesados en peces en el Ecuador

En un estudio realizado en el año 2003, se analizó mercurio en corvinas, merluza y perela en el periodo de octubre del 2003 para el proyecto ODEPLAN (Oficina de Planificación de la Presidencia) y el INP. De las muestras analizadas la concentración de mercurio fue mayormente representativa en dos muestras de corvina, mismas que se encontraban por encima de los niveles permisibles con 0,5 mg/kg. Lo que supone que sobrepasaron los límites que establece la Organización Mundial de la Salud y Comunidad Europea; se menciona en dicho documento que la talla ni el peso influyeron en el contenido de mercurio (Chalen, 2003).

De igual manera, Moncayo, Trejos, Maridueña, & Castro, (2010), analizaron en productos pesqueros de exportación niveles de mercurio, cadmio y plomo y determinaron los contenidos de metales pesados en muestras de productos pesqueros colectados en el periodo de enero del 2006 hasta julio del 2009 en muestras de

productos ecuatorianos de exportación. Las concentraciones que se evidenciaron en las muestras de peces la mayoría fueron menores a $1,0 \text{ mg Hg.kg}^{-1}$, $0,1 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$ y $0,3 \text{ mg Pb.kg}^{-1}$. Con respecto al contenido de plomo en dichas muestras, los niveles estuvieron por debajo del límite de cuantificación del método ($0,035 \text{ mg/Kg}$), excepto en dos muestras que estuvieron sobre los límites permisibles (Moncayo et al., 2010).

Por otro lado, Cedeño (2016) evidenció concentraciones en cinco especies de peces comerciales que presentaron cadmio y plomo en tejido muscular e hígado; y halló la presencia de dicho metal en los tejidos musculares de cuatro de las cinco especies estudiadas tuvieron diferencias significativas entre ellas, en la que tres muestras presentaron concentraciones por encima de los (LPM), a niveles hepáticos las cuales solo dos especies mostraron plomo en el hígado.

De igual manera, Senior, Cornejo, Tobar, Ramírez, & Márquez, (2016) efectuaron en filete de pescados congelados de consumo preferencial en el Ecuador en la ciudad de Machala un estudio de metales pesados (cadmio, plomo, mercurio y arsénico), en los cuales evidenciaron la contaminación de dichos productos con arsénico, plomo y mercurio, mismos que resaltados que superaron las normas internacionales.

En el mismo año, Araujo & Cedeño, (2016), encontraron metales pesados en *Thunnus albacares* y *Coryphaena hippurus* en las costas del Ecuador. Esta investigación tuvo como objetivo verificar la concentración de cadmio, mercurio y plomo en tejidos de atún aleta amarilla y de dorado del Pacífico Oriental en la ciudad de Manta. Estos autores encontraron que alrededor de la mitad de las muestras musculares de las dos especies presentaron niveles de Cd y Hg por encima de los límites permisibles establecidos por la Unión Europea y para el Pb las muestras del tejido muscular fueron consideradas aceptables para el consumo humano.

Posteriormente, en el 2018 se efectuó una investigación donde encontraron niveles de cadmio en atún fresco y en conserva para el consumo humano en el cual se comprobó que la concentración de cadmio en 36 muestras de atún fresco y en conserva provenientes de dos lugares el mercado Caraguay y el Puerto pesquero de Santa Rosa. Las concentraciones presentes en atunes de consumo nacional y de exportación fueron de $0,441\pm 0,046$ mg/L para el nacional y $0,297\pm 0,109$ el de exportación para el Cd para lo cual las diferencias estadísticas no fueron significativas ($p>0,05$), en las muestras de atún fresco del mercado Caraguay en la especie *Katsuwonus pelamis* fue de $0,385\pm 0,174$ mg/L de Cd y de *Thunnus albacares* $0,295\pm 0,187$ mg/kg Cd, por otro parte las concentraciones en atún proveniente del Puerto Pesquero Santa Rosa fueron menores para las especies *Katsuwonus pelamis* $0,079\pm 0,061$ mg/L para Cd y *Thunnus albacares* $0,030\pm 0,050$ mg/L, en la cual se comprobó que no hubo diferencia significativa entre el atún enlatado y fresco (Flores, Pozo, Pernía, & Sánchez, 2018).

De igual forma, Villareal, Sánchez, & Cañarte, (2019), en el estudio de comparación y valoración de mercurio y cadmio en la especie Dorado realizado en Manta, la concentración de Cd para la talla 70-85 cm fue de $0,0263$ mg/kg y para Hg fue de $0,0771$ mg/kg, y para las tallas de 85-100 cm se registró $0,0294$ mg/kg de Cd y el Hg fue de $0,0826$ mg/kg valores que no superan los LMP por la legislaciones Nacionales e Internacionales, sin embargo, muestran la contaminación por estos metales pesados.

Capítulo 2

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Área de estudio

El área de Estudio se encuentra en la región de la costa del Ecuador, provincia del Guayas, cantón Guayaquil. El Golfo de Guayaquil es una región que incluye una masa de agua con una extensión de 13.701 Km² (11.701 Km² de agua y 1990 Km² de islas e islotes), constituye el rango geomorfológico más singular de todo el perfil litoral ecuatoriano, se localiza en la latitud 2°0' y 3°23' S, la longitud 81°00' W y el límite continental y es la prominencia más occidental de la costa pacífica sudamericana. Se divide en dos zonas: estuario interior, que comprende el área al este de la línea entre Boca de Capones y punta del Morro, y estuario exterior que comprende el área del meridiano 81°00'30" W y el paralelo 03°23' S y, la línea costera entre la puntilla de Santa Elena y Punta del Morro. A su vez el estuario interior está formado por dos canales, el Estero Salado y el Río Guayas, cada uno con sus rasgos singulares, el Estero salado se extiende desde el canal del Morro al Sur hasta cerca de la ciudad de Guayaquil en su parte superior (CAAM, 1996).

La zona evidencia un desarrollo socioeconómico, lo cual le lleva una serie de problemas como los desechos domésticos e industriales sin tratamiento a los cuerpos de agua, la no recolección de residuos sólidos o su disposición no adecuada, la aplicación de plaguicidas y fertilizantes en los cultivos, la quema de residuos agrícolas y forestales y la elevada fragilidad (Montaño & Sanfeliu, 2008). Otro autor define al estuario del Golfo de Guayaquil como un cuerpo hídrico donde la desembocadura río Guayas se abre hacia el ecosistema marino, posee salinidades medias entre dulce y salada donde la acción de las mareas es un importante regulador biofísico (Naranjo, 2015).

En el Estero Salado encontramos diferentes hábitats, como zonas rocosas, zonas arenosas, zonas de manglares y salitrales los cuales son muy frágiles, y estos representan el hábitat de diferentes organismos entre ellos los macro invertebrados bentónicos que, por vivir sobre la superficie de los sedimentos, ocultos en el lodo son quienes reciben directamente los contaminantes al igual que los peces (Cárdenas, 2010).

Para el presente trabajo se escogieron dos esteros del estuario interior del Estero Salado: el Tres Bocas y el Mongón que colindan con la población de Puerto Hondo, donde los pescadores capturan al organismo en estudio para el consumo de la población (Figura 1).

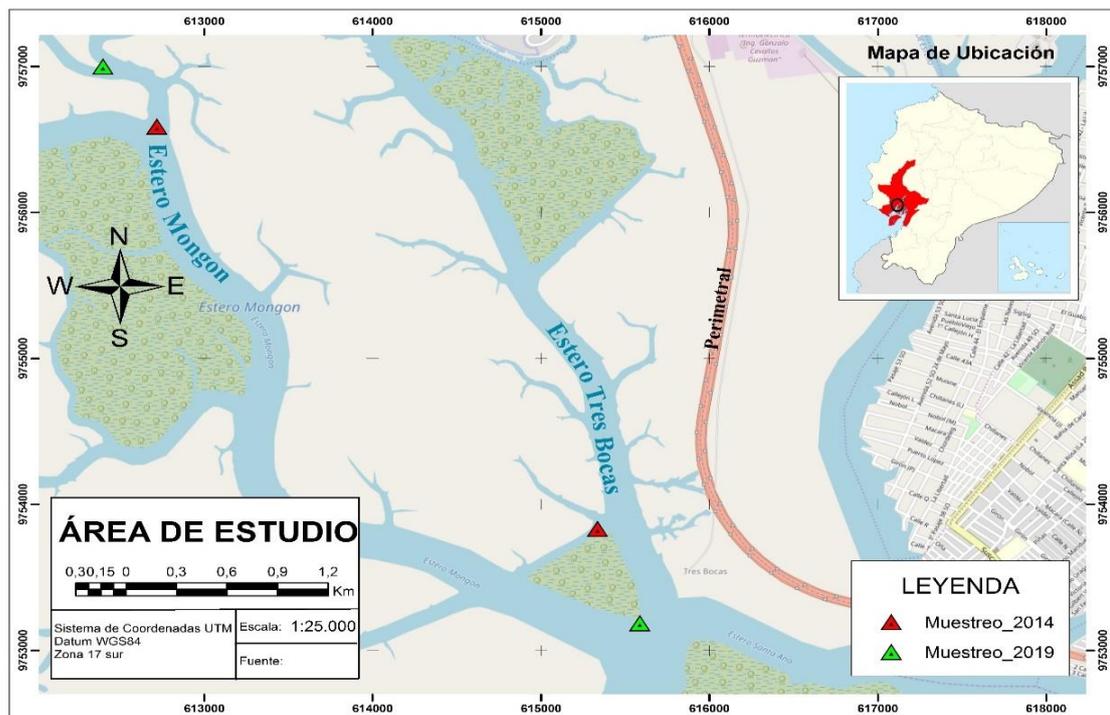


Figura 1. Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo

Con la finalidad de comparar la contaminación por plomo a través de los años se realizaron dos muestreos con cinco años de diferencia (2014 y 2019), cuyas coordenadas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Estaciones de muestreo de los esteros Mongón y Tres Bocas

AÑO	ESTEROS	COORDENADAS
2014	Mongón	0612718 E 9756589 S
2019		0612398 E 9757000 S
2014	Tres Bocas	0614912 E 9753563 S
2019		0614742 E 9753300 S

Fuente: Ramón Rodríguez S. (2019).

Cabe mencionar que estos esteros reciben aportes hídricos de la cuenca interior del río Guayas y del flujo y reflujo del Estero Salado, y en este proceso reciben contaminantes tales como desechos sólidos y aguas servidas de alcantarillado de la ciudad de Guayaquil y de las ciudadelas cercanas a estos esteros (Estrella, 2007).

2.2. Captura de ejemplares de mojarra *Gerres simillimus*

Como se muestra en la tabla 3, se recolectaron 60 ejemplares de mojarra *Gerres simillimus* (Regan, 1907), por muestreo aleatorio, los cuales fueron capturados utilizando una red (trasmallo) de 3 pulgadas de abertura de ojo de malla, con la ayuda de los pescadores de la zona.

Se colectaron 30 individuos por estero los cuales se separaron por sexo y talla para luego realizar un pool de cinco individuos por estación por triplicado. Estos fueron pesados en una balanza electrónica marca Camry modelo EK5055, medidos con un ictiómetro y diseccionados para extraer la musculatura.

Tabla 3. *Diseño experimental.*

AÑO	ESPECIE	MUESTRA POR SEXO		TOTAL
2014	<i>Gerres simillimus</i>	Músculos de Machos	n=30	60
		Músculos de Hembras	n=30	
2019	<i>Gerres simillimus</i>	Músculos de Machos	n=30	60
		Músculos de Hembras	n=30	

Fuente: Ramón Rodríguez S. (2019).

2.3. Cuantificación de la concentración de plomo en tejido muscular de *Gerres simillimus*

Las muestras de tejido muscular de las mojarras fueron rotuladas, congeladas y llevadas al Laboratorio de Análisis Químico y Microbiología de alimentos de la Subsecretaría de Calidad e Inocuidad (SCI) del Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca.

Para la digestión de las muestras, se pesó $0,3 \pm 0,5$ g de muestra se colocó en un vaso de teflón (CEM Corporation), fueron digeridas en un microondas (MARS Express CEM) empleando 6 ml de ácido nítrico (Merck) concentrado. Posteriormente, las soluciones fueron diluidas a un volumen final de 25 ml con agua ultra pura, trasvasando las aguas de lavado a esta solución.

El contenido de Pb se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica usando la técnica de horno de grafito (VARIAN modelo Spectr AA 220Z) que consiste en las siguientes etapas: las etapas de secado, carbonización, atomización y limpieza empleando soluciones de $MgNO_3 \cdot 6H_2O$ y $NH_4H_2PO_4$ como modificadores de matriz.

Este método se fundamenta en la destrucción de todo elemento orgánico, utilizando un horno de microondas en el que se realiza la digestión de la muestra en medio ácido en un vaso de teflón, obteniéndose, después de la digestión una disolución acuosa ácida

de la muestra, con la liberación de plomo y su posterior cuantificación espectrofotométría. Para determinar la concentración de plomo se empleó una longitud de onda de 283.3 nm.

El límite de cuantificación (LC) del método empleado fue de 0,035 mg/kg. Los valores obtenidos se expresaron en mg/kg en peso húmedo.

Para la validación de los resultados se utilizaron patrones de referencia de plomo (Accustandar) y material de referencia de metales en peces (IAEA 407) con un porcentaje de recuperación del 95%.

2.4. Determinación de la concentración de plomo agua y sedimento

Las muestras de agua, sedimento fueron colectadas en los esteros Mongón y Tres Bocas en Puerto Hondo de la provincia del Guayas en los años 2014 y 2019. Las muestras de agua fueron colectadas en envases plásticos previamente tratados con HNO₃ al 1%, dichas muestras fueron estabilizadas con 1 ml de HNO₃ (Merck) y fueron digeridas por microonda (MARS Express CEM) y leídas en un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito (VARIAN modelo Spectr AA 220Z).

Por otro lado, las muestras de sedimento se recolectaron en bolsas plásticas herméticas tipo ziploc, se conservaron en hieleras y posteriormente las muestras fueron trasladadas al Instituto Nacional de Pesca (INP) para su análisis. Una vez en el laboratorio, se pesó $0,3 \pm 0,5$ g de muestra se colocó en un vaso de teflón (CEM Corporación) y fueron digeridas en un microondas (MARS Express CEM) empleando 6 ml de ácido nítrico (Merck) concentrado. Posteriormente, las soluciones fueron diluidas a un volumen final de 25 ml con agua ultra pura, trasvasando las aguas de lavado a esta solución.

2.5. Análisis estadísticos

Los gráficos y las pruebas estadísticas se realizaron con el programa Minitab versión 19. Para verificar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Anderson-Darling y para determinar la homocedasticidad, la prueba de Levene. Se aplicó Anova de una sola vía ($p > 0.05$), para comparar las medias entre la talla de los peces por sexo y año, y para comparar las medias de las concentraciones de plomo en agua por año y estero.

Por otro lado, a fin de comparar las concentraciones del metal en el músculo de la mojarra y en los sedimentos, se utilizó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis con una confiabilidad del 95%.

Finalmente, con la finalidad de identificar la fuente de contaminación de los peces se realizó un análisis de correlación de Spearman y un análisis de componentes principales entre la concentración de Pb en los peces y en el agua y sedimentos, así como por talla de las mojarra, para verificar si a mayor talla existía mayor acumulación de plomo.

2.6 Premisas o Hipótesis

Según los antecedentes de la existencia de contaminación por plomo en agua y sedimentos del Estero Salado, la hipótesis de la presente investigación es la siguiente:

Los niveles de plomo en los músculos de la especie *Gerres simillimus* de los Esteros Tres Bocas y Mongón, superan los límites máximos permisibles para consumo humano.

2.7 CDIU – Operacionalización de variables

En el presente estudio se trabajó con las variables cuantitativas tamaño o talla, sexo y concentración de plomo en músculo de la especie *Gerres simillimus*. Así mismo, con la finalidad de determinar la fuente de contaminación de los peces se analizaron las variables cuantitativas continuas concentración de plomo en agua y sedimentos. Y todas las variables mencionadas se compararon por la variable cualitativa Esteros, para identificar si entre los Esteros Mongón y Tres Bocas, existía diferencias en el grado de contaminación (Tabla 4).

Tabla 4. *Variables del estudio.*

Muestras	Variables	Unidad	Tipo
Peces	Tamaño	cm	Cuantitativo
	Sexo	♀ o ♂	Cualitativo
Tejido Muscular	Concentración de plomo	mg/Kg	Cuantitativo
Agua	Concentración de plomo	mg/L	Cuantitativo
Sedimento	Concentración de plomo	mg/kg	Cuantitativo
Esteros	Nombre del estero		Cualitativo

Fuente: Ramón Rodríguez S. (2019).

Resultados 3

3.1. Talla de los especímenes de *Gerres simillimus* por estero y año

Se capturaron especímenes de diferentes tamaños y sexos de la especie *Gerres simillimus* en los esteros Mongón y Tres Bocas, durante los años 2014 y 2019. En el Estero Tres Bocas se observó un incremento significativo en la talla de los peces machos entre los años 2014 a 2019 ($F=8,31$; $p=0,000$). En el año 2014 la media de la talla fue de $14,90\pm 1,72$ cm y en el 2019 de $17,92\pm 2,33$ cm (Figura 2). De igual manera, las hembras presentaron un incremento en la talla de $14,83\pm 2,12$ cm a $17,32\pm 2,11$ cm en los años 2014 y 2019, respectivamente.

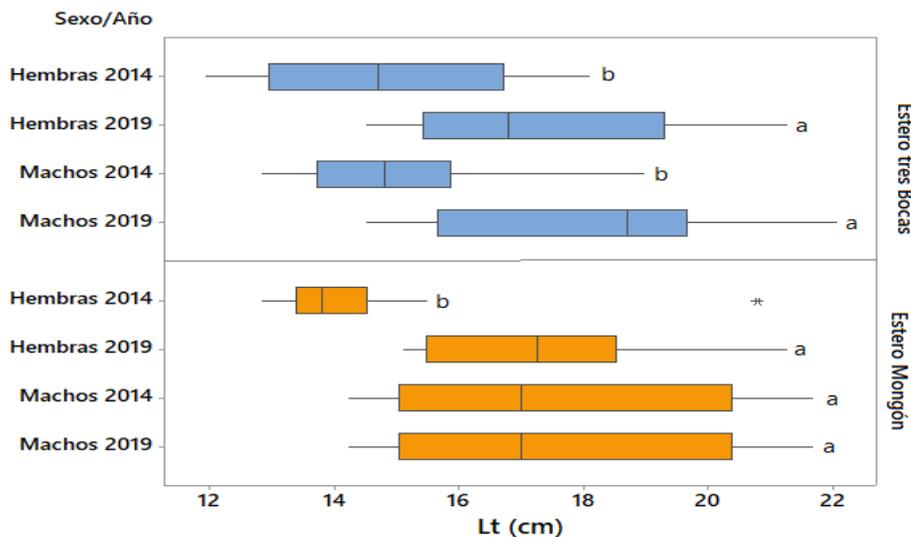


Figura 2. Talla de los peces hembras y machos en los años 2014 y 2019 en los Esteros Tres Bocas y Mongón. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas según Anova de una vía y test a posteriori de Tukey ($p>0,050$).

Por el contrario, en el Estero Mongón no hubo diferencias en la talla de los peces machos entre los años de estudio ($p>0,050$). En el caso de las hembras si se observó un incremento en la talla de $14,30\pm 1,99$ cm a $17,39\pm 2,05$ cm para los años 2014 y 2019, respectivamente ($F=9,10$; $p=0,000$). Comparativamente no se apreciaron diferencias significativas entre las tallas de los peces de los diferentes Esteros.

En general, los peces machos presentaron una talla mínima de 12,5 cm y máxima de 22,1 cm y para las hembras la talla mínima y máxima fue de 11,9 cm y 21,3 cm.

3.2. Cuantificación de la concentración de plomo en tejido muscular de *Gerres simillimus*.

En *Gerres simillimus* se encontró Pb por debajo de los límites permisibles en machos y hembras en el año 2014 y no se detectó en el tejido muscular en el año 2019 (Figura 3). Cabe destacar que en el año 2014 no se encontró diferencias significativas en la concentración de Pb entre machos y hembras según el test de Kruskal-Wallis ($H= 4,35$; $p=0,037$). Los machos presentaron una mediana de 0,025 mg/kg y las hembras 0,031 mg/kg de Pb, todos por debajo del límite máximo permisible (0,3 mg/kg) indicando que son aptos para su consumo por la población.

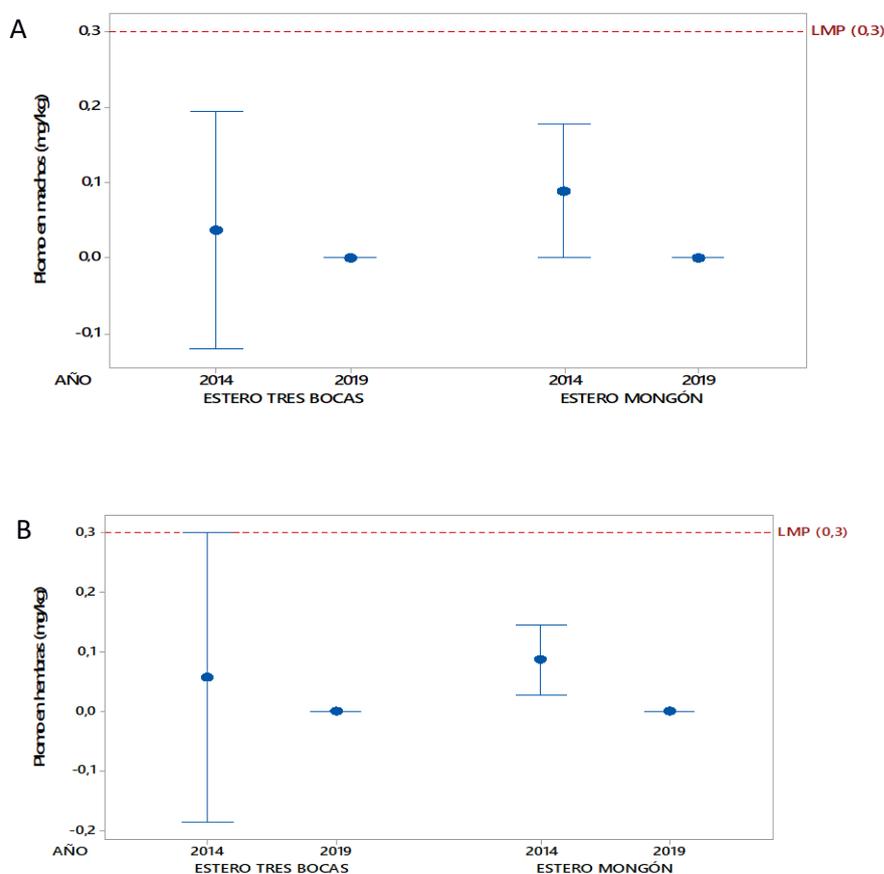


Figura 3. Concentración de plomo en el tejido muscular de *Gerres simillimus* capturados en los Esteros Tres Bocas y Mongón A Machos, B Hembras. Los resultados se muestran como medias + intervalos de confianza.

3.3. Concentración de plomo en el agua de los Esteros Tres Bocas y Mongón.

En el año 2014 las concentraciones de plomo en el agua no fueron detectables (Figura 4). Por el contrario, en el año 2019 se hallaron por encima del límite máximo permisible para conservación de la flora y la fauna (0,001 mg/L), indicando un incremento en la concentración de este metal pesado en el tiempo. En estero Tres Bocas la concentración de Pb fue de $0,003 \pm 0,002$ mg/L y en Mongón de $0,002 \pm 0,001$ mg/L, sin embargo, no existen diferencias significativas entre ambas localidades según Anova de una vía ($F= 1,04$; $p= 0,366$).

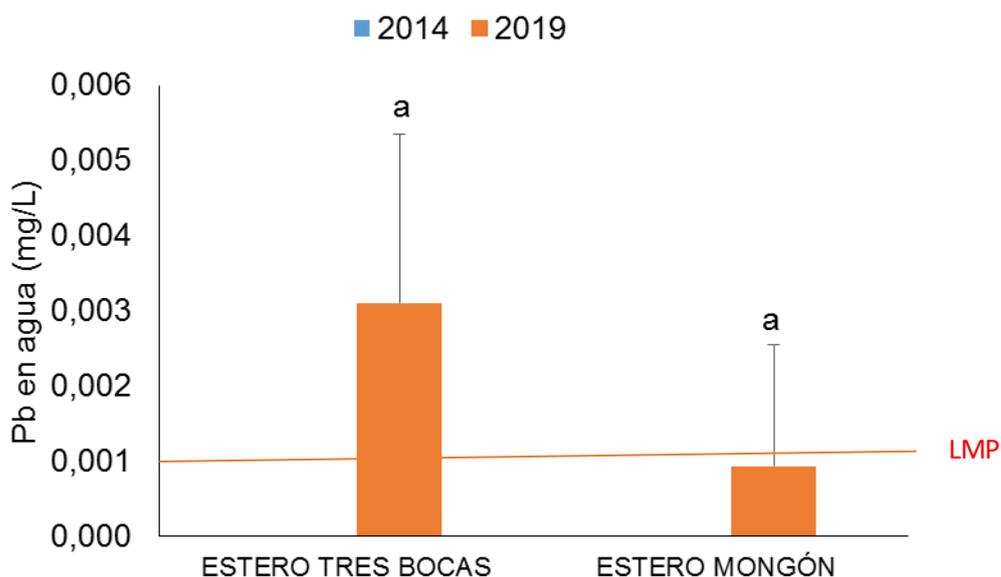


Figura 4. Concentración de plomo en el agua de los Esteros Tres Bocas y Mongón. Los resultados se muestran como medias \pm desviación estándar. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre las medias de Pb en agua para ambas localidades ($p > 0,05$).

3.4. Concentración de plomo en sedimentos de los Esteros Tres Bocas y Mongón.

Las concentraciones de plomo en sedimento en los años 2014 y 2019 no sobrepasaron los límites máximos permitidos de 19 mg/kg según el AM 097A (2015). En el Estero Tres Bocas se encontró en el año 2014 una concentración de $3,9 \pm 0,00$ mg/kg y esta aumentó de forma significativa para el año 2019 donde se halló $9,00 \pm 0,16$ mg/kg.

mg/Kg ($H=4,35$; $p=0,037$). De igual manera, en el Estero Mongón se observó un incremento del año 2014 a 2019 de $4,30\pm 0,00$ a $8,70\pm 1,11$ mg/kg de Pb, respectivamente ($H=4,35$; $p=0,037$), (Figura 5).

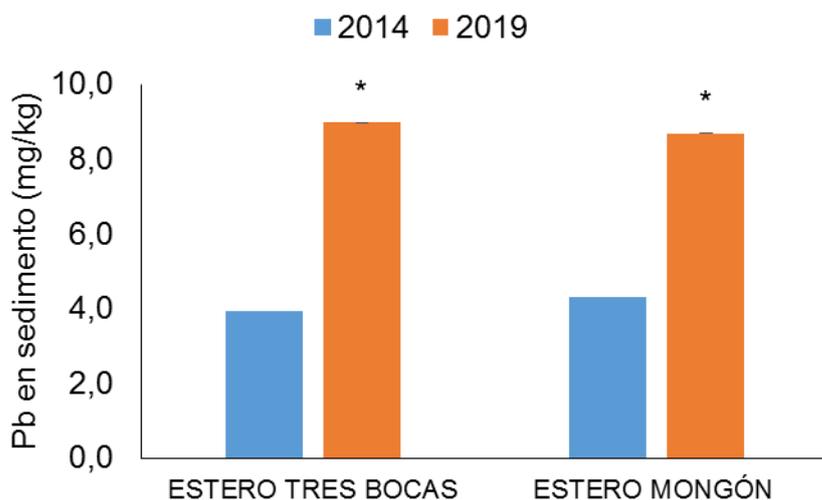


Figura 5. Concentración de plomo en el sedimento de los Esteros Tres Bocas y Mongón. Los resultados se muestran como medias \pm desviación estándar. * indican que existe diferencia significativa entre las medianas de Pb en sedimento para ambas localidades ($p<0,05$).

3.5. Análisis de correlación de la concentración de Pb por talla de los peces y la concentración del metal en agua y sedimento.

Posteriormente, se efectuó el análisis de correlación de Spearman y se estableció que la relación entre la talla de los peces y la concentración de plomo es débil ($r= 0,385$; $p=0,615$). De igual manera, se realizó un análisis de componentes principales donde se evidenció que no existe correlación entre el contenido de Pb y la talla, pero, por el contrario, se apreció correlación entre la concentración de Pb presente en el sedimento y en los músculos de los peces para el año 2014, lo que indica que la contaminación de los sedimentos es la fuente de polución para los peces (Figura 6).

Cabe mencionar que no se analizó Pb en agua en las correlaciones por estar ausente en el año 2014.

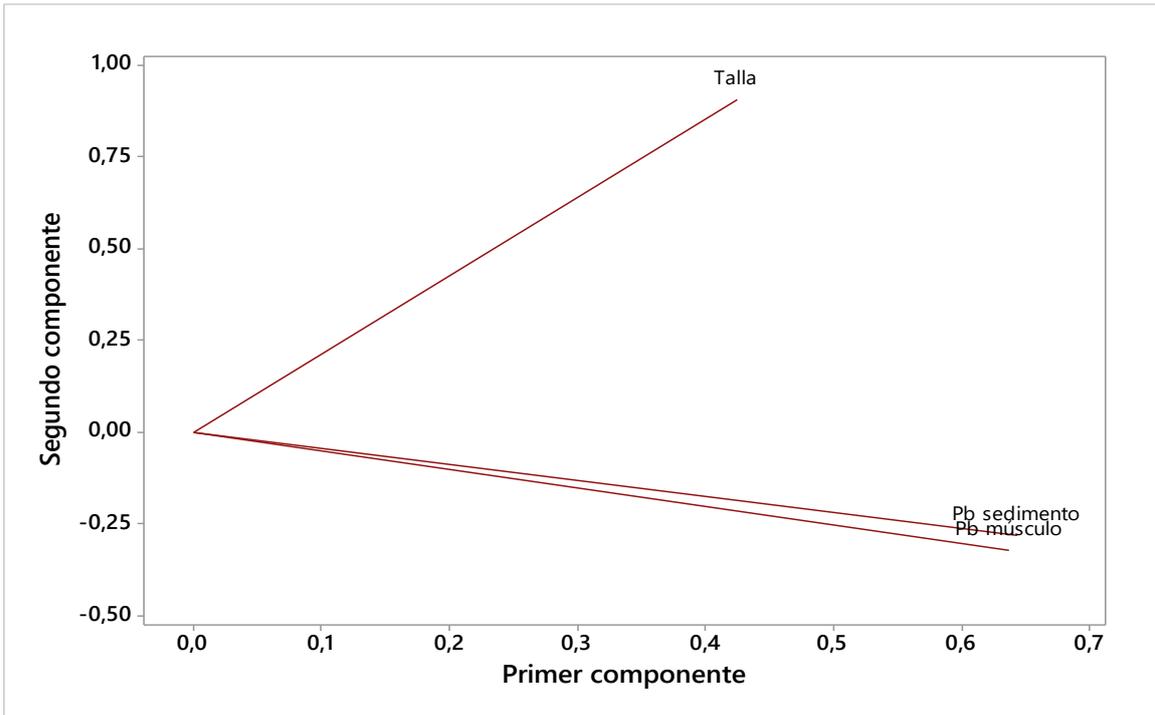


Figura 6. Análisis de componentes principales para las variables talla, Pb en sedimento y Pb en músculo.

Capítulo 4

DISCUSIÓN

4.1 Contratación empírica

En la presente investigación se capturaron hembras y machos de la especie *Gerres simillimus* donde se apreció una pequeña variación en el tamaño de los peces entre los años 2014 y 2019, con rangos en sus tallas de 12,5-22,1 cm en los machos y de 11,9 a 21,3 cm en las hembras. Sin embargo, los valores máximos fueron inferiores a los hallados por García (2019) en ejemplares de la misma especie con rangos de tallas de 7,5-26,40 cm en machos y 11,20-26,40 cm en hembras, capturados en Puerto Hondo (Estero Salado) en el año 2018. Estos resultados indican que podría haber una leve disminución de la talla de los peces entre los años 2018 y 2019 y que esta podría estar relacionada al aumento de plomo en el agua del Estero.

Con respecto a la contaminación de plomo en los peces, en el presente trabajo se hallaron concentraciones de no detectables a 0,031 mg/kg de Pb, valores inferiores a los límites máximos permisibles según la normativa nacional e internacional, indicando que estos peces son aptos para el consumo de la población.

En este sentido, según la legislación de la Unión Europea, la legislación finlandesa, australiana, neozelandesa (Autralian New Zeland Food Standard Code) y el *Codex Alimentarius* el LMP en plomo en peces es de 0,30 mg/kg. Y a nivel nacional, la norma NTE INEN 1896:2013 la norma suiza, canadiense y sudafricana, el LMP es de 0,5 mg/kg y en la legislación brasileña es de 2 mg/kg. De allí podemos decir que todas las muestras de tejido muscular de la mojarra del presente estudio están por debajo de los estándares de LMP de las normas internacionales y nacionales, por lo que el consumo

de *Gerres* obtenida de los esteros Mongón y Tres Bocas son aptas para el consumo humano y para la exportación.

Comparativamente, Jiménez, (2017) realizó un estudio de metales pesados en peces del Estero Salado en el cual encontró plomo en la Lisa con un promedio de 0,42 mg/kg, valores muy superiores a los encontrados en la mojarra. Esto puede deberse a que los sitios muestreados por Jiménez están más cerca de la Ciudad de Guayaquil donde la mayor aportación de plomo es por actividades antropogénicas de las riveras del Estero Salado.

También se realizó una comparación con otros trabajos realizados en la región donde se encontró Pb en otra especie de mojarra (*Eugerres plumieri*). Fuentes, Pinedo, & Marrugo en el (2017), en Colombia determinaron plomo en músculo de peces obtenidos en la Ciénega de Mallorquín con una concentración de $0,08 \pm 0,01$ mg/kg. Así mismo, Espinoza & Falero en el (2015), en Perú (Tumbes) hallaron concentraciones de plomo en la mojarra (*Andinoacara rivulatus*) de $0,60 \pm 0,37$ mg/kg, muy superiores a las del presente trabajo. En otra investigación realizada en Puerto Rico por Rodríguez & Jiménez, (2002), en una especie similar de mojarra (*Diapterus plumieris*) reportaron concentraciones de plomo que van de $0,008 \pm 0,007$ mg/kg a $0,47 \pm 0,08$ mg/kg, lo que contrasta con el presente trabajo, donde las medias que se obtuvieron fueron de 0,025 mg/kg en los machos y 0,031 mg/kg en las hembras en el año 2014 y valores no detectables en el año 2019, de donde se desprende que, probablemente la especie *Gerres simillimus* acumula menos plomo que las otras especies de mojarras.

Con respecto al efecto que podría generar la contaminación en el agua a los peces, Osorio (2010) realizó un ensayo en trucha para ver dosis letales con plomo y tuvo como

resultado embriones que presentaron 9 malformaciones como: cifosis, lordosis, escoliosis, hiperplasia del cristalino, microcefalia, hipoplasia encefálica, microftalmia, hipertrofia de la aleta y hemorragias, en el cual demostró que el plomo incide en la mortalidad de esta especie dando cabida a la posibilidad que pase con otras especies de peces. En otros ensayos realizados por Álvarez, (2011) con nitrato de plomo en peces cebrá, se halló una mortalidad menor al 50% y ocho malformaciones, cuatro asociadas con el desarrollo de la columna vertebral como cifosis, lordosis, escoliosis y espina bífida con un 59% de incidencia, además otras malformaciones como edema del pericardio, hemorragia cefálica, hipertrofia de aletas caudales y vitelo adicional que no fueron muy frecuentes con 41% de incidencia; en el caso de las malformaciones se demostró que a mayor concentración y mayor tiempo de exposición, se amplía las malformaciones en los individuos.

Para evitar que los peces sufran los efectos antes mencionados es importante mitigar la contaminación por plomo en los Esteros, ya que se observó un incremento de este metal pesado en los años y sus niveles en agua superan los límites máximos permisibles, exponiendo a los organismos a sufrir los efectos devastadores del plomo.

Con respecto a la contaminación del agua, en los Esteros Tres Bocas y Mongón se registraron concentraciones de plomo en el agua en el año 2019 mas no así en el año 2014. Las concentraciones de plomo del año 2019 estuvieron por encima de los LMP para la norma de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuarios (0,001 mg/L) según Acuerdo Ministerial 097A (Leonardo, 2019) (2015) en los Esteros Tres Bocas y Mongón. Estas concentraciones elevadas de Pb en el agua posiblemente se deban al incremento de aguas residuales de uso doméstico sin tratamiento previo que son vertidas al Estero Salado, así como el mal uso de los desechos sólidos (EMAG, 1978; Cárdenas, 2010). También podrían tener un origen

industrial debido a que en la ciudad de Guayaquil existen numerosas empresas y fábricas de baterías.

En el año 2011, Alcívar (2011) en su trabajo realizado cerca de estos Esteros, no detectaron plomo en las aguas, de igual manera, Jiménez en el año 2012 tampoco registró Pb en el Estero Salado. Ya a partir del año 2013, Rodríguez (2013) mencionó en su trabajo que en varias estaciones del Estero Salado se encontraron concentraciones de 0,03-0,05 mg/L de Pb y en el 2014, Pernía et al. (2018) encontraron concentraciones de Pb más elevadas (0,264-0,228 mg/L), lo que indica junto con el presente estudio que la contaminación por plomo en el agua está en aumento en las diferentes zonas del Estero Salado.

Esto podría deberse a que cerca del Estero Salado se encuentra la Estación de servicio Tres Bocas de (EP Petroecuador) y el tercer puente de la perimetral, el cual es un lugar con mucho tránsito automotriz, con la combustión de sustancias como la gasolina, diésel o grasas que podrían contener plomo, mismo que podría ser transferido a los ramales de los Esteros Tres Bocas y Mongón.

También se ha referido que las vías acumulan contaminantes, como material particulado de freno, grasas, contaminantes orgánicos y metales pesados que por vía escorrentías son depositados a los Esteros (Jones, Swanson, Wemple, & Snyder, 2000). Otro aporte importante de plomo al Estero Salado podría darse por el intercambio de aguas de los ríos Daule y Babahoyo que al unirse forman el río Guayas el cual intercambia agua con el Estero Salado (INP, 1998). Los resultados sugieren que con el

pasar del tiempo se va acumulando el plomo en las aguas y sedimentos del Estero Tres Bocas y Mongón.

En este estudio se demostró que las concentraciones de plomo son mayores en el Estero Tres Bocas que las halladas por Rodríguez (2013) quien encontró este metal en concentraciones bajas en dos de las estaciones muestreadas, al igual que Jiménez (2017) quien tampoco halló concentraciones de plomo en las aguas interiores del Estero Salado. Entre los posibles efectos, que podría acarrear la contaminación del Estero Salado con plomo tenemos la afectación a las especies bentónicas, peces, plantas y humanos (Pernía, 2018).

En lo que se refiere a los sedimentos, las concentraciones de plomo en los años 2014 y 2019 no sobrepasaron los límites máximos permitidos de 19 mg/kg según el AM 097A (2015). Las concentraciones halladas en el presente estudio (8-9 mg/kg Pb) no superaron las reportadas por Mero (2010), que contrasta con lo reportado por Pernía et al. (2018) en el Puente Portete, donde los valores superan a los reportes de este trabajo; y también por lo observado por Jiménez, (2012) y Rodríguez (2013) donde la concentración de plomo en sedimento fue de 13,7 a 54 mg/kg. y 29,93 a 230,03 mg/kg valores muy superiores a los encontrados en esta investigación.

De igual manera, Castro (2017) reporto plomo en sedimentos con valores de 20,65-348,70 mg/kg en el Estero Salado. Comparando los trabajos anteriores con el actual trabajo se evidencia una menor concentración en los Esteros Tres Bocas y Mongón en comparación con otras áreas del Estero Salado. Esto podría deberse a que los estudios realizados por estos autores se encuentran en los ramales más interiores del Estero Salado, donde se vierten los desechos de la población en el estero (Alcívar, 2011).

Cabe mencionar que los estudios de Jiménez (2012), Rodríguez (2013), Castro (2017) y Pernía, (2018) se realizaron en una de las zonas más contaminadas del Estero Salado dentro de la ciudad de Guayaquil y, por el contrario, el Estero Tres Bocas y Mongón se encuentran en un área de manglar más alejada de la fuente de contaminación que representa la ciudad.

Realizando una comparación con trabajos realizados en otros países tenemos que los valores de plomo en sedimentos en el Estero Tres Bocas y Mongón se encuentran por debajo de los reportados en Colombia de $41,0 \pm 0,05$ mg/kg (Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo, & Guio, 2015), por encima de los registrados en Panamá de 3,80 mg/kg y fueron semejantes a los reportados en Perú 8,47 mg/kg por Ibárcena (2011) en áreas de manglar.

Otro aspecto resaltante de este trabajo es que se halló correlación entre el contenido de Pb en los peces con el presente en los sedimentos y esto podría deberse a que las mojarra se alimentan de organismos bentónicos que están en contacto con estos sedimentos, y en el caso de los bivalvos, se conoce que son acumuladores de metales pesados y podrían ser la fuente de contaminación para las mojarra. Aunque los niveles de plomo no superaron los límites en los peces, en este trabajo se demostró que el plomo en los sedimentos está en aumento a través de los años y a futuro esto podría traer como consecuencia la acumulación sobre los límites permisibles en *Gerres simillimus* y generar un impacto sobre la salud de los consumidores.

4.2 Limitaciones

En el presente estudio no se ha considerado el factor de las estaciones, la cual quiere decir que no se realizó muestreos en los periodos de sequía y lluvia y por ello no

se puedan relacionar parámetros estacionales con la concentración de Pb, por lo que se recomienda para futuros trabajos realizar monitoreos en ambos períodos.

4.3 Línea de investigación

A partir del presente estudio se propone una nueva línea de investigación:

El análisis de las Concentraciones de Pb, Cd y Hg en los géneros Gerridae en la costa ecuatoriana, la determinación de plomo en otras especies de peces del sector y el estudio de la influencia de este metal en los procesos reproductivos de la especie.

4.4 Aspectos relevantes

Uno de los aspectos más relevantes fue demostrar que la especie *Gerres simillimus* acumula plomo en los tejidos musculares. Otro de los aspectos novedosos en este estudio ver las bajas concentraciones de plomo que existen en los Esteros Mongón y Tres Bocas en comparación a otros sectores del Estero Salado. Y el aspecto más preocupante fue la evidencia de contaminación por plomo en el agua de los Esteros tres Bocas y Mongón.

Conclusiones

Se capturaron especímenes de diferentes tamaños, pesos y sexos de la especie *Gerres simillimus* en los esteros Mongón y Tres Bocas. En el Estero Tres Bocas se observó un incremento significativo en la talla de los peces machos y hembras del año 2014 al 2019 y, en el Estero Mongón no hubo diferencias en la talla de los peces machos, pero en el caso de las hembras si se observó un incremento en la talla entre los años de estudio.

En cuanto a la especie en estudio se detectó que tiene concentraciones de plomo, pero los valores están por debajo del LMP nacionales e internacionales. De allí podemos concluir que todas las muestras de tejido muscular de la mojarra del presente estudio son aptas para el consumo humano y para la exportación.

Cabe destacar que en el año 2014 no se encontró diferencias significativas entre las concentraciones de plomo entre los tejidos muscular de los machos y hembras. Así mismo, se demostró que no hay correlación entre talla de los peces y la concentración de plomo, pero si se apreció correlación entre la concentración de plomo del sedimento y el tejido muscular de los peces en el año 2014.

Las concentraciones de plomo en las aguas de los Esteros Tres Bocas y Mongón en el año 2014 no fueron detectables para el método, pero no así en el 2019 que se encontraron por encima de las normas ambientales para la conservación de la flora y de la fauna del Ecuador. En el Estero Tres Bocas superó por tres veces la norma para la concentración de plomo en las aguas de este Estero y en el Estero Mongón supero por dos veces las normas para este metal y se puede decir que no existen diferencias significativas entre los Esteros.

En lo referente a los sedimentos los rangos de concentración de plomo no sobrepasaron los establecidos por el AM 097A (2015) de 19 mg/kg. En el Estero Tres Bocas se registró un aumento de concentración de plomo del 2014 de cinco veces con respecto al año 2019, y en el Estero Mongón se registró un aumento de la concentración de Pb del 2014 al 2019 de cuatro veces.

Finalmente se rechaza la hipótesis nula debido a que los peces no superaron los límites máximos permisibles de plomo en sus tejidos según la normativa internacional.

Se concluye que las mojarras son aptas para el consumo humano y no representan un peligro para la población. Sin embargo, se evidenció una correlación entre la concentración de Pb en los peces y el sedimento, mismo que va en aumento a través de los años, lo que implica que a futuro podrían superarse los límites máximos permisibles si no se toman medidas para mitigar la contaminación por plomo.

Recomendaciones

Con el aumento de las concentraciones de Pb con el pasar del tiempo en estos dos Esteros se recomienda que las autoridades tomen carta en el asunto para mitigar la contaminación en esta zona del Estero, donde se podría realizar monitoreos periódicos de plomo en agua, sedimento y en el tejido muscular de la mojarra con la finalidad de tener una evaluación anual de este metal, que conlleve a una buena conservación de la flora y fauna del sector.

También se recomienda a las autoridades exigir a las empresas a tratar sus aguas servidas previo a su vertido en el Estero Salado y a tratar las aguas servidas de la ciudad de Guayaquil, por ser las principales causas de contaminación.

Bibliografía

- Alcivar, M., & Mosquera, J. (2011). Concentración de metales pesados (Cr TOTAL, Pb, Cd) en aguas superficiales y sedimento en el Estero Salado (Guayaquil) . *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Alvarez, C. (2011). Efectos teratogénicos del nitrato de plomo en el desarrollo embrionario del pez cebra *Danio rerio* (Hamilton, 1822) a cinco dosis subletales. *Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencia Carrera de Biología*. Bogotá D. C, Colombia.
- Amundsen, P., Staldvik, F., Ludin, A., Kashulin, N., Popova, O., & Reshetniko, Y. (1997). "Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia". *The Science of the Total Environment* 201 (3), 211-224.
- Angeles Cano Parrilla. (1993). Contenidos totales y formas cambiables de Zn, Cu, Pb Y Cd, en suelos agrícolas de la zona suroccidental de Madrid. Madrid, España.
- Araújo, C., & Cedeño, L. (2016). Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment* 541, 149-152.
- Arroyave, C., Gallegos, H., Mosquera, J., Rodriguez, J., Aristizabal, J., Mesa, M., . . . Agudelo, Y. (2008). Guías para el manejo de Urgencias Toxicológicas. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia .
- Ascona, M., Ramírez, R., & Vicente, G. (2015). Efectos Tóxicos del Plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 72-77.
- Barraza, H., Recavarren, M., & Sanzano, P. (2018). Análisis cuantitativo de metales pesados en pescados para exportación a la Unión Europea. *Facultad de Ciencias Veterinarias UNCPBA*. Tandil, Argentina.
- Barros, O., Doria, C., & Marrugo, J. (2016). Metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, Hg) en tejidos de *Lutjanus synagris* y *Lutjanus vivanus* de la Costa de La Guajira, Norte de Colombia . *Veterinaria y Zootecnia Vol.10 No. 2*, 27-41.
- Beatriz Pernía, M. M. (2019). Impactos de la contaminación sobre los Manglares del Ecuador. 46.
- Bertolotti, F., & Moccetti, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash - Perú. *Salud Tecnología y Veterinaria* 1, 35-41.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403-412.
- CAAM. (1996). Sistemas biofísicos y pesquerías en el golfo de Guayaquil. *Comisión Asesora Ambiental de la Presidencia de la República del Ecuador*. Quito, Ecuador.

- Cárdenas, M. (2010). Efecto de la contaminación hidrocarburífera sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos presentes en el sedimento del Estero Salado. *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Castañé, P., Topalián, M., Cordero, R., & Salibián, A. (2003). Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Rev. Toxicol.*, 13-18.
- Castro, R. (2017). Contaminación por metales pesados cadmio y plomo en agua, sedimento y en mejillón *Mytella guyanensis* (Lamarck, 1819) en los puentes 5 de Junio y perimetral (Estero Salado, Guayaquil Ecuador). *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Cedeño, M. (2016). Detreminación de Cadmio y Plomo en muestras de hígado y tejido muscular en cinco especies de peces marino comerciales. *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Chalen, F. (2016). Mercurio en corvina (*Cynoscion analis*), Merlusa (*Merlucius gayi*) y Perela (*Paralabrax callaensis* y *Paralbreax humeralis*) durante octubre del 2003. *Revista de Ciencia del Mar y Limnología Vol. 10 No 2*, 16-36.
- Ciardullo, S., Aureli, F., Coni, E., Guandalini, E., Iosi, F., Raggi, A., & Cubadda, F. (2008). Bioaccumulation potential of dietary arsenic, cadmium, lead, mercury, and selenium in organs and tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) as a function of fish growth. *Jornal of Agricultura and Food Chemistry*, 2442-2451.
- Ciencia y Salud. (11 de 08 de 2017). Cómo afecta el Plomo a la salud humana. págs. 1-7.
- CODEX. (2015). Norma General para los Contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. *Naciones Unidas FAO*.
- Combariza, D. (2009). Contaminacion por Metales Pesados en el Embalse del Muña y su Relacion con los Niveles en Sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y Alteraciones de Salud en los Habitantes del Municipio de Sibaté (Cundinamarca) 2007. Bogota.
- Concepción Nava-Ruíz, M. M.-A. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*, 16(3), 7.
- Cotto, A., Acero, A., & Rojas, P. (2010). *The IUCN red list of Threatened*. Obtenido de www.iucnredlist.org
- Covarrubia, S., & Peña, J. (2017). Contaminación Ambiental por Metales Pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitoremediación. *Rev. Int. Contam. Ambie. 33 (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental)*, 7-21.
- Cumbies, P. (1975). *Mercury Levels in Georgia Otter, Mink and Freshwater Fish*. Charlotte: Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, Vol. 14, No. 2.
- Donaliso, R. (23 de Abril de 1981). *El plomo: medio ambiente y grupos de población vulnerables*. Obtenido de http://elpais.com/diario/1981/04/23/sociedad/356824801_850215.html

- Eisler, R. (1988). Lead Hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. *U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report 85 (1.14) Contaminant hazard review report No. 14*, 300563-300706.
- EMAG. (1978). Recuperación del Estero Salado Plan de Trabajo. *Empresa Municipal Alcantarillado de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: 43.
- EPA. (25 de Marzo de 2013). *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Obtenido de <http://www.epa.gov/wastes/hazard/wastetypes/wasteid/hwirwste/sab03/vo12/2-chap15.pdf>
- Espinoza, D., & Falero, S. (2015). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM Vol. 18 No 36*, 35-41.
- Establier, R. (1977). *Estudio de la contaminación marina por metales pesados y sus efectos biológicos*. Cadiz.
- Estrella, T. (2007). Usos del recurso agua y manglares en el Estero de Puerto Hondo, provincia del Guayas-Ecuador. *Universidad Internacional de Andalucía*. Andalucía, España.
- Europea, U. (19 de 12 de 2006). Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/search.html?qid=1564420415671&text=1881-2006&scope=EURLEX&type=quick&lang=es>
- Europea, U. (Febrero de 2019). Obtenido de <file:///F:/Bibliografía%20de%20Taxis/LEGISLACIONES%20MUNDIAL%20MetalPesa.pdf>
- Fernandez Cardenas, J. (2014). Heavy metal concentration in mangrove surface sediments from the north-west coast of South America. *Marine Pollution Boletín*.
- Flores, E., Pozo, W., Pernía, B., & Sánchez, W. (2018). Niveles de cadmio en atún fresco y enlatado para consumo humano en Ecuador. *MASKANA, Vol. 9 No. 2*, 36-40.
- Forstner, U., & Wittmann, G. (1983). *Metal pollution in aquatic environment*. Berlin: Springer-Verlag.
- Froese, R., & Pauly, D. (20 de Febrero de 2019). *FishBase*. Obtenido de <https://www.fishbase.in/summary/Gerres-simillimus.html>
- Fuentes, F., Pinedo, J., & Marrugo, J. (2018). Metales pesados en especies ícticas de la ciénaga de Mallorquín, Colombia. *Revista Espacios Vol. 39 No 3 Año* , 1-19.
- García Medina, I. (2019). Variaciones morfométricas de la mojarra rayada (*Gerres simillimus* Reagan, 1907) en el Estero Salado de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

- García, J. (2002). Estado actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el parque Natural de Monfrague. *Memoria que se presenta para la obtención del grado de Doctor*. Extremadura, España.
- Halliwell, D., Turoczy, N., & Stagnitti, F. (2000). Lead Concentrations in Eucalyptus sp. in a Small Coastal Town. *Environ. Contam. Toxicol*, 583-590.
- Ibarcéna, L. (2011). Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna. *Ciencia & Desarrollo Volumen 13*, 28-35.
- INP. (1998). Condiciones físicas, químicas y biológicas del estuario interior del Golfo de Guayaquil durante 1994-1996. *Boletín Especial*.
- INP. (2012). Estudio Oceanográfico en la zona de San Mateo. *Instituto Nacional de Pesca*. Guayaquil, Ecuador.
- Jennette, K. (1981). The Role of Metals in Carcinogenesis. *Environmental Health Perspectives vol. 40*, 233-252.
- Jiménez, C., Romieu, I., Palazuelos, E., Muñoz, I., Cortés, M., Rivero, A., & Catalán, J. (1993). Factores de exposición ambiental y concentraciones de plomo en sangre en niños de la ciudad de. *Salud Pública de México, vol. 35, núm. 6*, 599-606.
- Jiménez, D. (2012). Cuantificación de metales pesados (Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*) ostión de mangle en el puente Portete del Estero Salado. Guayaquil, Ecuador.
- Jiménez, D. (2017). Determinación de plomo y cadmio en sedimentos y organismos (peces comercializados) en el puente Portete del Estero Salado (Guayaquil) y su impacto generado. *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Jones, J., Swanson, F., Wemple, B., & Snyder, K. (2000). Effects of Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation Biology Vol. 14 No 1*, 76-85.
- Krantz, A., & Dorevitch, S. (2004). Exposición a Metales y Enfermedades Crónicas Comunes: una Guía para el Clínico. págs. 1-2.
- Kuffó, A. (2013). Niveles de Cadmio, Cromo, Plomo, y su bioacumulación por *Mytella strigata* delimitando la zona urbano-marginal en el Estero Salado de Guayaquil. *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador: 111.
- Leonardo, G. m. (2019). Variaciones morfométricas de la mojarra rayada (*Gerres simillimus* Reagan, 1907) en el Estero Salado de Guayaquil. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Maldonado, E., López, U., Salinas, R., González, N., Cuenca, C., Jiménez, R., & Hernández, J. (2015). Contenido de metales pesados en músculo de pez diablo *Pterygoplichthys pardalis*. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 67-73.
- Marrugo, L. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga Soledad y Bahía de Cispatá, Cuenca del Bajo Sinú, Departamento de Córdoba. Obtenido de Universidad de Córdoba. Córdoba, España.

- Medina, I. L. (2019). Variaciones morfométricas de la mojarra rayada (*Gerres simillimus* Reagan, 1907) en el Estero Salado de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Mero, M. (2010). Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en Moluscos Bivalvos de interés comercial de cuatro Esteros del Golfo de Guayaquil. *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Moncayo, D., Trejos, R., Maridueña, A., & Castro, R. (2010). Niveles de Mercurio, Cadmio y Plomo en productos pesqueros de exportación. *Revista de Ciencias del Mar y Limnología Volumen 4 No 1*.
- Montaño, M., & Sanfeliu, T. (2008). Ecosistema Guayas (Ecuador), Medio Ambiente y Sostenibilidad. *Revista Tecnológica ESPOL Vol. 21 No 1*, 1-6.
- Naranjo, A. (2015). Estudio del Impacto Ambiental producido por el centro recreativo y balneario, Puerto Hondo de Guayaquil”. *Universidad de Guayaquil*. Guayas, Ecuador.
- Navarro, J., Aguilar, I., & López, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistema*, 10-25.
- Needleman, H. (2004). Lead Poisoning. *Revista Medica*, 209-222.
- ONU. (2005). Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). *ONU*. Nueva York, USA.
- Ortiz, L., Delgado, J., Pardo, D., Murillo, E., & Guio, A. (2015). Determinación de metales pesados e índices de calidad en agua y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia. *Revista Tumbaga, Vol. 2 No. 10*, 43-60.
- Osorio, A. (2010). Efectos del nitrato de plomo en la Embriogenesis de la trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). *Pontificia universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y rurales carrera de Ecología*. Bogotá, Colombia.
- Paladines Jaramillo, M. E. (2017). “Ecología Trófica de dos Especies de la familia Gerreidae (Osteichthyes: Perciformes), en el Estero Salado de Guayaquil (Guayas-Ecuador), en el periodo Agosto – Diciembre 2016”. Guayaquil, Ecuador.
- Patte, O. H., & Deborah, J. P. (2002). Lead in the Environment. *en: Hoffman David J., Barnett A. Rattner, G. Allen Burton, Jr., John Cairns, Jr. (eds). Handbook of ec Press Company. New York., 373-408.*
- Pernia Santos, B. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador
- Pernia, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador . *Enfoque UTE, Vol.9 No.2*, 89-105.
- Roberts, R. (2012). *Fish Patology (fourth edition)*. Oxford: Blackwell Publishin Ltd.
- Rodriguez, C., & Jiménez, B. (2002). Trace metals in striped mojarra fish (*Diapterus plumieri*) from Puerto Rico. *Marine Pollution Bulletin 44* , 1039-1045.

- Rodriguez, F. (2013). Cuantificación de Cadmio, Plomo y Níquel en agua superficiales, sedimento y organismo (*Mystella guyanensis*) en los puentes Portete y 5 de Julio de Estero Salado (Guayaquil). *Universidad de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- Rubio, C., Gutiérrez, A., Martín, R., Revert, C., Lozano, G., & Hardisson, A. (2004). El Plomo como Contaminante Alimentario. *Revista de Toxicología vol. 21*, , 72-80
- Senior, W., Cornejo, M., Tobar, J., Ramírez, M., & Márquez, A. (2016). Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en el Ecuador . *Zootecnia Tropical 34 (2)*, 143-153.
- Sivaperumal, P., Sankar, T., & Viswanathan, P. (2007). Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *ScienceDirect*, 1-2.
- Tulasi, S., Reddy, P., & Ramana, J. (1989). Effects of Lead on the Spawning Potential of the Fresh Water Fish, *Anabas Testudineus*. *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology Vol. 43*, 858-863 .
- Tulsma. (2015). Ministerio de Medio Ambiente. *Norma de calidad de agua, sedimento y vida silvestre*. Quito, Ecuador.
- Tulsma. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. *para calidad de agua, sedimento y vida silvestre*. Quito, Ecuador.
- Tulsma. (2017). Texto Unificado de Legislación secundaria de Medio Ambiente. *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso agua*.
- UE. (2006). Reglamento (CE) No 1881/2006 de la Comisión. *Union Europea*.
- UE. (2019). Diario Oficial de la Unión Europea. *Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del consejo*.
- Villareal, D., Sánchez, J., & Cañarte, J. . (2019). Comparación y valoración de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) en la especie Dorado (*Coryphaena hippurus*) que se consume en Manta, Ecuador. *Revista de las Agrociencias* , 1-16.