



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“ANÁLISIS DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR  
METALES PESADOS EN SEDIMENTOS DE ECOSISTEMAS  
ACUÁTICOS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Esperanza Becerra Aguilar

Asesora:

M. Cs. Sara Esther García Alva

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC), por darme la oportunidad de seguir una carrera profesional mediante el programa Beca 18. En segundo lugar, agradezco a mis padres, por ser el pilar más importante en el transcurso de mi formación, por apoyarme emocional y económicamente a lo largo de mi aprendizaje profesional y, en tercer lugar, a mi asesora Sara Esther García Alva ya que con su seguimiento y adecuadas sugerencias en dicha investigación de trabajo me ha permitido familiarizarme un poco más con el campo de trabajo de mi carrera de Ingeniería Ambiental y de antemano a mi pequeña hija por ser mi motivo y fuerza de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por la sabiduría, por guiarme en todo momento de mi vida y permitirme llegar hasta esta etapa de mi formación profesional, por darme fuerza y paciencia para superar las dificultades que se me presentaron a lo largo de mi vida. A mis padres, por siempre brindarme amor, paciencia y apoyo incondicional en toda la etapa de mi formación Profesional. Así mismo, a mi asesora Sara Esther García Alva, por su valioso apoyo en el desarrollo de mi proyecto de investigación. Y a todas las personas que participaron de manera directa o indirectamente en el desarrollo del presente trabajo de investigación para que de esta manera pueda optar por título de Ingeniera Ambiental.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática.....	9
Sedimentos .....	17
Carga de fondo de ecosistemas acuáticos .....	18
Contaminación de aguas por metales pesados.....	18
Metales pesados .....	19
Contaminación de sedimentos por metales pesados .....	19
Bioacumulación de metales pesados.....	20
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Objetivos .....	20
1.4. Hipótesis.....	21
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>22</b>
2.1. Tipo de investigación .....	22
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	22
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos .....	22
Observación indirecta: .....	22
Base de datos: .....	23
Páginas web: .....	23
Procesamiento y análisis de datos.....	23
Análisis estadístico.....	23

Revisión bibliográfica .....	24
2.4. Procedimiento .....	24
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
4.1. Discusión .....	47
4.2. Conclusiones.....	49
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Listado de los 25 estudios de análisis de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Cuadro comparativo de Metales extraídos de los 25 estudios con la Normativa Canadiense para sedimentos. ....	30
<b>Tabla 3:</b> Tabla general de los resultados de metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos .....	37
<b>Tabla 4:</b> Criterios para la evaluación de la calidad de los sedimentos de agua dulce. ....	55
<b>Tabla 5:</b> Criterios para la evaluación de la calidad de los sedimentos marinos. ....	56
<b>Tabla 6:</b> Estándares Canadienses de calidad para sedimentos de cuerpos de agua dulce con la concentración de Níquel (Burton, 2003). ....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Resultados de metales pesados para sedimentos en ecosistemas acuáticos .....	38
<b>Figura 2:</b> Resultados de As .....	39
<b>Figura 3:</b> Resultados de Cd .....	40
<b>Figura 4:</b> Resultados de Cu .....	41
<b>Figura 5:</b> Resultados de Cr.....	42
<b>Figura 6:</b> Resultados de Hg.....	43
<b>Figura 7:</b> Resultados de Ni.....	44
<b>Figura 8:</b> Resultados para Pb.....	45
<b>Figura 9:</b> Resultados para Zn .....	46

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad analizar el grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos. La metodología para dicha investigación es de tipo descriptiva, la muestra consta de un conjunto de datos de investigaciones como tesis, artículos científicos que fueron extraídas de fuentes confiables como Scielo, Dialnet, Google académico, se establecieron 25 estudios de los cuales se extraerán metales pesados presentes en sedimentos de ecosistemas acuáticos para luego compararlos con la Normativa Canadiense para sedimentos “Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. Canadá,”, cabe recalcar que en Perú no existe una Normativa para sedimentos. A partir del análisis de estos datos nos permitirá relacionar los contaminantes existentes que presentan los diferentes estudios trabajados.

**Palabras clave:** Metales pesados, ecosistemas acuáticos, sedimentos, acumulación

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los océanos y mares son depósitos finales de la mayoría de las sustancias desechadas por el hombre. La actividad biológica ocasiona la descomposición de los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua como producto final. Sin embargo, las especies inorgánicas, especialmente los metales, son continuamente acumulados en el medio acuático, excepto una porción menor que pueden ser ingeridos por los organismos acuáticos.

Los metales pesados, tales como el cadmio, mercurio, plomo, cobre, zinc, etc., son considerados como serios contaminantes de los ecosistemas acuáticos, por su persistencia en el ambiente, toxicidad y habilidad para ser incorporados en la cadena alimenticia (Förstner y Wittman, 1983). También pueden causar graves daños a nivel celular, dada su capacidad para desnaturalizar proteínas (Gaad y Griffiths, 1987), ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores, provocando graves alteraciones ecológicas y biológicas al ecosistema (Hardstedt y Laumond, 1980).

Las concentraciones naturales de metales pesados están relacionadas con las actividades volcánicas, meteorización de las rocas y los procesos de erosión de los suelos. Los metales que entran al mar como producto de las emisiones terrestres pueden disolverse en el agua o ser transportados directamente a los sedimentos acuáticos. Si un metal excede el límite de solubilidad en agua, puede precipitar como una fase sólida o ser adsorbido en el material en suspensión y, finalmente depositarse en los sedimentos. Muchos organismos acuáticos pueden absorber o liberar metales directamente de los sedimentos. Algunos de ellos pueden, también, formar compuestos volátiles debido a la actividad biológica o a cambios en las condiciones redox del agua y sedimentos. La química de los metales pesados en ambientes acuáticos es una manifestación de todos los equilibrios entre varios componentes. El más importante de todos es el agua, seguido de los sedimentos acuáticos.

Las características físico-químicas, tanto del agua como del sedimento, juegan un papel importante en el contenido de estos elementos. La interacción entre los metales pesados y las características físico-químicas del agua y sedimentos pueden llevarse a cabo directa o indirectamente y de una forma individual o simultánea. Un ejemplo de interacción directa es la formación de sales insolubles y complejos en solución de metales pesados con los elementos más abundantes en el agua. La interacción indirecta es aquella donde los elementos más o menos abundantes en el agua o en los sedimentos acuáticos modifican la concentración o actividad de un ión metálico traza que interactúa.

El comportamiento químico de los metales pesados y la forma cómo se transforman o son absorbidos por microorganismos acuáticos se conoce poco. Muchos metales pesados son fácilmente adsorbidos en micropartículas en suspensión; si éstas sedimentan en el fondo, posiblemente quedan fijadas a los sedimentos. Varios investigadores consideran estos procesos beneficiosos, ya que los materiales que biológicamente son peligrosos quedan inactivados en los sedimentos, pero pueden causar problemas a largo plazo, ya que es posible que se altere la población béntica, y también, que en el sedimento ocurra una descomposición bioquímica con el consiguiente desprendimiento de sustancias nocivas.

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente (Singh y Chen, 2013). Además, en los procesos de extracción minera son liberados al ambiente grandes cantidades de metales pesados entre los que se encuentran As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, entre otros que son bioacumulados y biomagnificados a través de las cadenas tróficas impactando los ecosistemas (Olivero, 2009; Tejeda, 2016).

En el Perú, y especialmente en la zona sur, las descargas domésticas y mineras ocasionan mayor contaminación en las aguas receptoras, las primeras por el volumen de sus vertimientos, y las segundas por el vertimiento de sustancias tóxicas.

En este trabajo se hace una recopilación de información de estudios previos del análisis de contaminación por metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn, Pb) en sedimentos de ecosistemas acuáticos.

Según Páez, (1996) Los metales considerados más tóxicos y de riesgo para el ambiente son el Cadmio, Mercurio y Plomo Otros como el Zinc, Manganeso y Cobre, son necesarios para la vida en bajas concentraciones; sin embargo, en altas concentraciones, los organismos pueden sufrir diversos efectos biológicos, incluso letales (Bernot y Brandenburg, 2013).

Calderón y Valdés (2005), en su estudio analizó el contenido de Cu, Zn y Pb en sedimentos, y de Cu y Zn en organismos bentónicos, en 7 sectores de la costa de la bahía San Jorge, para evaluar el impacto de la actividad antrópica sobre el ecosistema marino. Se encontró que la mayor concentración de metales pesados en sedimentos correspondió al sector del Puerto de Antofagasta. De acuerdo a la concentración de Cu medida en 14 especies de organismos bentónicos, en la bahía se distinguen dos sectores, el sector sur con niveles altos de Cu y el sector norte con niveles bajos. El Zn presentó concentraciones altas, específicamente en el sector del Puerto. Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados. Además, se estima que solo el 20% de aguas residuales producidas en el área urbana son tratadas, pero solo se da efectivamente en un 10% (Morales, 2008).

En el trabajo de investigación de Alcívar y Mosquera (2011) realizada en la época seca (Agosto, Septiembre, Octubre) del año 2010 en cinco puntos del Estero Salado de Guayaquil se determinó la concentración de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo total (Cr), Plomo (Pb), en las matrices de agua superficial y sedimento las mismas que reportaron valores de: Cd (ND – 0,06ppm); Cr y Pb (ND - 0,01ppm) para las muestras de agua superficial, mientras que los sedimentos fueron de: Cd (ND – 9, 50ppm); Cr (11, 99 – 43,47ppm); Pb (13,47 – 69,47ppm). Adicionalmente se tomaron muestras de gasterópodos (*Cerithidea valida*), para determinar si estos metales afectaban a dichos organismos y por consiguiente a la cadena trófica, los organismos fueron capturados en el área de estudio en el mes de octubre obteniendo resultados de: Cd (1,37 – 3,5ppm); Cr (4,50 – 7,99ppm); Pb (18,73 – 41,03ppm). El valor encontrado en cada una de las matrices nos refleja la problemática ambiental existente en este ecosistema debido principalmente a las actividades industriales, crecimiento poblacional acelerado, deforestación y el mal manejo de desecho y descargas de uso doméstico e industrial no tratadas, ocasionando así el deterioro de este ecosistema.

Izquierdo y Verástegui (2017). La evaluación de la concentración de metales pesados plomo y mercurio en agua y en sedimentos del río Nanay, se realizó el muestreo desde el caserío Libertad, hasta su desembocadura en el río Amazonas, en las épocas de creciente y vaciante del año 2011. La cuenca del río Nanay comprende 340 km<sup>2</sup> y alberga a cuatro comunidades nativas y ocho campesinas y además tiene influencia sobre los distritos de San Juan, Iquitos y Punchana, incluso es la fuente de agua potable para la población de estos distritos. Los análisis de metales pesados se realizarán utilizando la técnica de la absorción atómica en el laboratorio de Sustancias Naturales Bioactivas del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP). Según los resultados de análisis de agua el plomo y mercurio se encuentran presentes en concentraciones mayores que lo indicado por las normas

nacionales. El plomo tanto en creciente es en promedio de 0,111ppm y 0,053ppm respectivamente y el mercurio en vaciante se encuentra en 0,008ppm, del mismo modo la presencia de mercurio es alta en los sedimentos que acompañan a este río con 1,636ppm en creciente y 3,03ppm en vaciante (Sotero y Alva, 2013).

Carpio (2016), en su tesis titulada “Cuantificación de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en agua, sedimento y plantas en el río Chimbo del cantón Marcelino Maridueña, Prov. Guayas” (p, 1), cuyo objetivo fue “Cuantificar las concentraciones de cadmio y plomo en 5 estaciones del Río Chimbo, en agua, sedimento y plantas durante las épocas seca y lluviosa del 2015, a fin de encontrar plantas bioindicadores de contaminación” (Carpio, 2016, p. 4) Cuantificación de *Cd* y *Pb* en agua, sedimento y plantas en el río Chimbo del Cantón Marcelino Maridueña, prov. Guayas. Las concentraciones en sedimentos encontradas fueron: *Cd* de 0,04mg/L - 0,80mg/L y *Pb* de 0,51mg/L - 0,83mg/L, se encuentra entre los límites permitidos, según la Organización Mundial de la Salud y la norma ecuatoriana, aunque las concentraciones de metales no fueron altas en el sedimento, se encontraban biodisponibles. Por otra parte, se mostró de la siguiente manera la acumulación en las raíces: *Gynerium sagittatum* (0,93±0,24mg/L de *Cd* y 1,27±0,80mg/L de *Pb*) > *Eleutheranthera ruderalis* (0,42±0,00mg/L de *Cd*; 1,01±0,00mg/L de *Pb*) > *Eichornia azurea* (0,35±0,16 mg/L de *Cd*; 0,75±0,26mg/L de *Pb*) > *Pistia stratiotes* (0,71±0,50 mg/L de *Pb*). Finalmente, concluye que no se encontraron altos valores de *Cd* y *Pb* en el Río Chimbo, pero se plantea el uso 9 de las especies *G. sagittatum* y *E. ruderalis* como bioindicadoras para un monitoreo de la contaminación por los metales. (Zelada, 2017).

Laino et al. (2015) Tecnologías y Ciencias del Agua (TCA, 2015). Concentración de metales pesados “(*As*, *Cd*, *Cr*, *Cu*, *Hg*, *Ni*, *Pb* y *Zn*) en agua superficial y en sedimentos durante la época de lluvias y en época seca, en la cuenca alta del río Grijalva en microcuencas cuyos ríos abastecen de agua a comunidades de la región 10 fronteriza México-Guatemala”

(p. 61). Las máximas concentraciones en agua de *As* 1,48µg/L; *Cd* <0,4µg/L; *Hg* 3,26µg/L y *Pb* 12µg/L. Se obtuvo como resultado que la descarga de las aguas residuales es el resultado de la ciudad, ya que parcialmente explica el aumento de la concentración en aguas y en sedimentos, la detección de concentraciones detectadas fueron en niveles mínimos ya que estos no sobrepasaron los LMP de la norma mexicana, pero en casos excepcionales sobrepasaron los LMP que se encuentran establecidos en los valores de referencia de los Estados Unidos y en la norma canadiense.

Planas (2010). Es su investigación sobre el “Estudio sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú” (p. 1). Determinó “la concentración total de metal en sedimento (mg/kg), en muestras de sedimento de tamaño de grano <63µm de la subcuenca Llapa” (Planas, 2010, p. 30) y el río Yanahuanga provincia de San Miguel - Cajamarca, cuyas concentraciones fueron: *As* (6,5mg/Kg a 234,3mg/Kg); *Cd* (0,2mg/Kg a 1,4mg/Kg) y *Pb* (13,6mg/Kg a 46,1mg/Kg). Concluyendo que, al comparar las concentraciones de los diversos puntos de muestreo, que se puede observar en la concentración de *As*, *Cu*, *Cd*, *Hg*, *Pb* y *Zn* agrandan las aguas debajo de la confluencia de los ríos provenientes de la mina.

El río Jequetepeque constituye la principal fuente de abastecimiento de los centros poblados ubicados a lo largo de la cuenca, tanto para consumo doméstico como para el desarrollo de la ganadería y agricultura, siendo el cultivo del arroz el predominante en el valle. Es importante considerar que por efecto de erosión hídrica los sedimentos entran en contacto con el agua y se posibilita el intercambio de compuestos orgánicos, iónicos (Matienzo 2015).

Moreno, Argota, Alfaro, Aparicio, Atencio y Camacho (2018), en su estudio fueron analizadas las concentraciones de *Cu*, *Zn*, *Pb*, *Cd*, *As* y *Hg* en los sedimentos superficiales

de seis estaciones de muestreo ambiental seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Los metales se analizaron por digestión ácida donde su cuantificación fue mediante espectrometría de plasma inductivamente acoplado con vista axial (ICP-AES). Al comparar los resultados con la norma ambiental seleccionada (Interim Sediment Quality Guidelin, Canadá), todos los elementos presentaron concentraciones en los rangos recomendados, aunque existió entre las estaciones, diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). El As y Hg, presentaron similitudes en sus valores ( $0,0001 \text{ mg. L}^{-1}$ ) entre las estaciones. Se concluyó que, los sedimentos superficiales de la bahía interior de Puno, no representan riesgo por exposición a metales totales, ya que sus concentraciones se encontraron en el rango de los valores permisibles.

Según Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado y Borbón, (2012), en su estudio Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. Se analizó por espectrofotometría de absorción atómica la concentración de Cd, Ag, Se, Sn, Ni, Cr, Cu, B, Zn, Hg, Ba, Pb, Mn, As y Al en los sedimentos superficiales del sector medio del río Pirro (Heredia, Costa Rica). Las concentraciones de estos elementos fueron muy elevadas para la mayoría de las sustancias analizadas en todos los puntos de muestreo seleccionados. Su distribución no fue homogénea, ni presentó un patrón geográfico marcadamente definido, pudiéndose encontrar altos niveles distribuidos a lo largo del transecto estudiado.

Quispe, Belizario, Betancur, Huaquisto, Mendoza y Miranda, (2012), en el estudio concentraciones de metales pesados cromo, cadmio, y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú, Se evaluó la contaminación de los cuerpos de agua, sedimentos y otros componentes de la diversidad ecológica. La determinación fue hecha en dos épocas del año, en avenida y en estiaje del año 2017 en cinco puntos estratégicos. El rango de concentraciones mínimo y máximo hallado fue de  $4.10 \text{ mg/kg Cr}$ ,  $0.10 \text{ mg/kg Cd}$ , y  $3.75 \text{ mg/kg Pb}$ , y  $28.42 \text{ mg/kg Cr}$ ,  $0.70 \text{ mg/kg Cd}$ , y  $16.50 \text{ mg/kg Pb}$ , respectivamente. Algunos

valores mínimos hallados superan los mínimos aceptables establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo del Ministerio del Ambiente del Perú. Las posibles causas de la contaminación detectada son la acción antrópica con impacto en las aguas residuales de la ciudad de Juliaca, Perú. La cuantificación de estos elementos se realizó por espectroscopia de absorción atómica Método EPA.

Martínez, (2006), en su estudio contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino costeras del oriente de Venezuela, Las muestras fueron recolectadas en las estaciones establecidas en las diferentes localidades con una draga Diez Laffont de 0,02 m<sup>2</sup>. Los análisis se realizaron por extracciones selectivas para cada una de las fracciones en las muestras secas y los metales se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica con llama de aire-acetileno y corrector de fondo de Deuterio. Las proporciones de los metales traza en las tres fracciones determinada varían para cada región y para cada metal, dependiendo de la intensidad de las intervenciones antrópicas. Los resultados muestran una alta proporción de metales en las fracciones biodisponibles y asociadas a la materia orgánica de los sedimentos superficiales, principalmente de los metales Cd, Cu, Cr, Zn y Pb, los cuales son los que presentan mayormente un origen antrópico.

Amat, Pierra, Casals y Vázquez, (2002), en su estudio Se determinaron las características espacio temporales de la distribución de los mismos y los efectos acumulativos en la zona de referencia en sedimentos y ostiones. En la zona de estudio se ubicaron siete estaciones de muestreo, donde se colectaron muestras de sedimentos de fondo y organismos. Se utilizó la Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA), con nebulización por llama para la determinación de los elementos Plomo, Cobre, Cinc y la generación de hidruros con atomización en celda de cuarzo para el Arsénico. Se observó un alto incremento en la concentración de Pb en sedimentos respecto a estudios anteriores. La concentración de

Pb en los sedimentos es muy elevada en la zona de la desembocadura del río Yara, así como en la zona costera aledaña. Los contenidos de Cu y Zn se mantienen en los límites normales.

Debido a su toxicidad la presencia de metales pesados en aguas y sedimentos de ecosistemas acuáticos representa un serio problema para los seres vivos que habitan el, tanto los animales, las plantas y lo seres humanos somos el factor más relevante ante esta problemática. Cabe resaltar que la contaminación por Plomo y por Cadmio afecta al sistema nervioso central, lo cual se traduce en retraso mental. Esto tiene particular importancia sobre todo en la población infantil y adolescente pues está asociado al desarrollo de la capacidad intelectual de la población afectada y a la larga tendría un serio impacto. Por ende, la presente investigación tiene por finalidad analizar el grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos mediante el estudio de artículos científicos para así evitar la proliferación de los contaminantes que puedan causar daño al medio ambiente.

### **Sedimentos**

La sedimentación es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita. Un tipo común de sedimentación ocurre cuando el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión y otras moléculas en disolución. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se deposite o precipite; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado. (Lexicón, 2016).

### **Carga de fondo de ecosistemas acuáticos**

En los ecosistemas acuáticos, el agua es el elemento central sobre el cual se estructura y organizan las comunidades biológicas y se establecen relaciones entre ellas (depredación, simbiosis, competencia, etc.) y, por lo tanto, dichos organismos presentan la necesidad de adaptarse a este entorno. Esto limita la presencia de muchos organismos, por ejemplo, todas aquellos que no poseen adaptaciones especiales para moverse por el agua (aletas, tarsos o metatarsos adaptados, etc.), o permanecer largo tiempo sumergidos (respiración traqueal, o por apéndices externos, etc.). Por otra parte, el agua es parte vital para la supervivencia de numerosas fases larvarias de diversas especies tanto de insectos como vertebrados (anfibios, etc.), por lo que acoge una elevada diversidad de formas de vida, con diversas estructuras y relaciones, y adaptaciones al medio. Deben pues los organismos, como partes del sistema, estar adaptados a vivir según las condiciones que se den en los diferentes ecosistemas. (FNCA, 20129).

### **Contaminación de aguas por metales pesados**

En la actualidad se estima en más de un millón de sustancias diferentes las que son introducidas en las aguas naturales a través de los vertimientos antropogénicos (Forsther, 1993). Muchas de ellas no son consideradas tóxicas, si bien pueden alterar las características organolépticas del agua, perturbar severamente el ecosistema y ser directamente nocivas para el hombre.

Los problemas de contaminación de las aguas tienen su origen en la Revolución Industrial, hace aproximadamente unos 200 años y con un rápido aumento de la población mundial (Dekov, 1998).

Por ello las concentraciones de metales pesados en las aguas están directamente relacionadas con las actividades humanas y descargas de efluentes, como también son función de las variaciones de caudal de ciertos vertidos puntuales que el río recibe (Geesey, 1984).

### **Metales pesados**

El término “metal pesado”, a pesar de ser ampliamente utilizado entre los profesionales y científicos, no tiene una base científica rigurosa o una definición química. Aunque muchos de los elementos que se enlistan en el término “metal pesado” tienen una gravedad específica mayor que cinco, existen diversas excepciones a esta regla. Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio. Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros.

Por otro lado, estos elementos se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (Elika, 2014).

### **Contaminación de sedimentos por metales pesados**

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales pesados son susceptibles o no de solubilizarse durante las modificaciones de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así la disminución de la contaminación en el sedimento. (Baruah, 1996).

## **Bioacumulación de metales pesados**

Es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el medio ambiente o en los alimentos. Las sustancias propensas a la bioacumulación alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia. En función de cada sustancia, esta acumulación puede producirse a partir de fuentes abióticas (suelo, aire, agua), o bióticas (otros organismos vivos). Las principales vías de introducción de una sustancia química en un organismo vivo son la respiratoria, la digestiva y la integumentaria. (Artica, 2011).

### **1.2. Formulación del problema**

¿En qué grado la contaminación del agua por metales pesados ocasiona la acumulación de estos en los sedimentos y la bioacumulación en los ecosistemas acuáticos?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- ✓ Analizar los diversos artículos científicos donde se demuestra que los metales pesados del agua de ecosistemas acuáticos se acumulan en los sedimentos y se bioacumulan en los organismos acuáticos.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Comparar los artículos científicos que presenta mayor grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos.
- ✓ Determinar los rangos de concentraciones de metales pesados presentes en los sedimentos de ecosistemas acuáticos.
- ✓ Comparar los resultados de análisis de los metales pesados con los valores umbrales de la normativa canadiense para sedimentos. Criteria for the

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

- ✓ Los metales pesados del agua de ecosistemas acuáticos se acumulan en los sedimentos ocasionando bioacumulación de metales en los organismos acuáticos.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ La comparación de los artículos científicos nos indicará cuál de estos presenta mayor grado de contaminación de sedimentos en ecosistemas acuáticos.
- ✓ Los rangos de concentraciones de metales pesados presentes en sedimentos de ecosistemas acuáticos son muy variables.
- ✓ Los resultados de metales pesados en sedimentos no superan lo establecido por las normas canadienses. Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo está enmarcado en un carácter descriptivo y en parte explicativo; ya que dicha información y datos están extraídos de la literatura científica en el desarrollo de estudios reales sobre el análisis del grado de contaminación por metales pesados de ecosistemas acuáticos, estos estudios están basados en un contexto científico, para luego analizarlos y contrastar los resultados y poder así replicar al planteamiento del problema y dar una afirmación a las hipótesis planteadas y concretar las debidas conclusiones. Un estudio descriptivo es aquel donde se observa situaciones, eventos y hechos ya existentes (Sampieri, 2014). Es como “tomar una fotografía” de algo que sucede; además indagan la incidencia de las modalidades, categorías o niveles de una o más variables en una población, que se someta a un análisis donde miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar proporcionando su descripción. (Hernández, 2014).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

**Población:** Todos los estudios de análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos.

**Muestra:** 25 estudios de tratamientos de análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos.

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### **Observación indirecta:**

Consiste en observar las variables en su estado natural y estudiar el comportamiento de cada una de ellas., en este caso es “análisis del grado de contaminación por metales

Análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos pesados en ecosistemas acuáticos”, se realizó la búsqueda de información como tesis y artículos científicos.

### **Base de datos:**

Se consultó la Normativa Canadiense para sedimentos “Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.” Para comparar los resultados de metales presentes en sedimentos, se tomó esta normativa ya que Perú carece de esta.

### **Páginas web:**

La información fue extraída de fuentes confiables como Scielo, Dialnet, Google académico donde se seleccionaron 25 estudios sobre el análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos.

### **Procesamiento y análisis de datos**

En el procesamiento de datos para la información recolectada se utilizó diferentes tecnologías y programas existentes (Microsoft), Seguidamente se ha procesado la información obtenida de las fuentes secundarias mediante:

- ✓ Hojas de cálculo en Excel,
- ✓ Tablas
- ✓ Gráficos estadísticos,
- ✓ Gráficos de barras,
- ✓ Cuadros comparativos, entre otros.

### **Análisis estadístico.**

En procesamiento de datos realizados para la investigación, consistió en identificar todos los metales pesados presentes y analizar todas las concentraciones presentes en sedimentos en los artículos científicos estudiados con la finalidad de compararlos con la

Normativa Canadiense para sedimentos “Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.”, posteriormente fueron analizados a partir de los objetivos y las hipótesis planteadas y poder de esta manera responder a la pregunta de investigación planteada, mediante el uso de herramientas estadísticas con el apoyo de la laptop se utilizó los programas estadísticos (Excel).

### Revisión bibliográfica

Consistió en la revisión sistemática de la literatura, buscado fuentes informativas con carácter similar al presente tema; las diferentes investigaciones fueron tomadas de buscadores virtuales como: Scielo, Redalyc, Science, Dialnet, Google académico, Alicia.net y páginas virtuales; de los cuales se han podido extraer artículos científicos, revistas científicas y tesis, donde se detalla información sumamente importante para poder responder al objetivo que se planteó en el presente estudio.

### 2.4. Procedimiento

#### Tabla 1:

*Listado de los 25 estudios de análisis de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos.*

Fuente	Tipo de documento	Lugar	Nombre del estudio
Quispe et al. (2019) Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNAP, 2019)	Artículo	Coata. Perú	"Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú "
Gonzáles et al. (2018) Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM (II-FIGMMG-UNMSM, 2018)	Artículo	Ecuador	“Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador”

Fuente	Tipo de documento	Lugar	Nombre del estudio
Calderón y Valdés, (2012)	Artículo	Chile	“Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile”
Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, (2016)	Artículo	Colombia	“Contaminación por metales pesados: implicación en salud, ambiente, y seguridad alimentaria”
Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, Bortón, (2012)	Artículo	Costa Rica	“Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro”
Castro y Valdés, (2012)	Artículo	Chile	“Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23° S, norte de Chile”
Martínez, (2006)	Artículo	Venezuela	“Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino-costeras del oriente de Venezuela”
Grau, (2009)	Memoria	Perú	"Estudios sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú "
Amat, Pierra, Casals y Vásquez, (2002)	Artículo	Cuba	“Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba”
Millán, (1989)	Artículo	España	“Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de los ríos de Guipuzcoa”

Fuente	Tipo de documento	Lugar	Nombre del estudio
Quevedo et al, (2012) Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (ICTM, 2012)	Artículo	Cuba	“Estudio de la contaminación por metales en sedimentos acuáticos de bahía de Matanzas”
Rodríguez, (2005)	Artículo	Barcelona-España	“Contaminación de sedimentos del río Anoia por metales pesados (Barcelona- España)”
Márquez, Fernández, del Toro y Goehler, 2005	Artículo	Cuba	“Contaminación por metales pesados en los sedimentos de los ríos Tinima y Hatibonico, Camaguey, Cuba”
Ibárcena, (2011)	Artículo	Tacna-Perú	"Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna. Perú"
Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo y Guio, (2015)	Artículo	Colombia	"Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia "
León y Lucero, 2015	Artículo	Ecuador	"Acumulación de metales pesados en <i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth Trin, es Steud. ( <i>Haloragaceae</i> ) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú"
Instituto del Mar del Perú, (2002)	Tesis	Tacna y Moquegua	“Estudio de trazas de metales en agua, sedimento y organismos bentónicos en áreas costeras de las regiones de Tacna y Moquegua.”
Zevallos, (2018)	Tesis	Lima	"Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) en Challhuahucho, Apurímac"
Moreno, Argota, Alfaro Aparicio, Atencio y Camacho (2018).	Artículo	Titicaca-Perú	“Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca-Perú”

Fuente	Tipo de documento	Lugar	Nombre del estudio
Cahuana y Aduvire, (2013)	Artículo	Perú	"Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú"
De la Cruz, Alderete y Laffón, 2013	Artículo	México	"Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos, Campeche, Mexico"
Márquez, Senior, Fermín, Gregorio, Castañeda y González, (2008)	Artículo	Venezuela	"Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela"
Abalde, Torres y Herrero, (1995)	Artículo	Coruña	"Bioacumulación de cobre en la diatomea marina <i>Phaeodactylum tricornutum</i> Bohlin"
Contreras, Mendoza y Gómez, (2004)	Artículo	República Dominicana	"Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina"
Espinoza, Parra y Villamil, (2011)	Artículo	Colombia	"Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la Ciénaga grande de santa marta, Colombia"

### Trabajo de gabinete

En este trabajo se utilizó Laptop. USB, Calculadora. Lapiceros, Libros Artículos científicos, Tesis.

### Elaboración de tesis:

Se consideró el tema relacionado a la carrera de Ing. Ambiental sobre la realidad problemática de hoy en día sobre las aguas contaminadas por metales pesados.

### Aspectos éticos:

Este trabajo realizado no es una copia, porque se ha revisado varias fuentes bibliográficas fidedignas y dichos resultados son de plena confiabilidad, debido a que se trabajó con varios estudios de carácter científico.

### **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

En el siguiente capítulo se presentan los resultados de metales pesados tomados de los estudios realizados y a la vez se compara con la Normativa canadiense para sedimentos *Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.* (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn).

**Tabla 2.**
*Cuadro comparativo de Metales extraídos de los 25 estudios con la Normativa Canadiense para sedimentos.*

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
	5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120								
"Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú "	-	0.70	-	14.80	-	-	16.50	-	Para este estudio los resultados de la investigación como el Cd, Cr y Pb no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador"	-	-	-	-	0-085	-	14	-	Para este estudio los resultados de la investigación como el Pb y Hg no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile"	-	-	33.8	-	-	-	20.9	158.0	Para este estudio los resultados de la investigación como el Cu, Pb y Zn este último metal pesado de Zn superó Los ECAS canadiense para sedimento.							
"Contaminación por metales pesados: implicación en salud, ambiente, y seguridad alimentaria"	0.4	0	-	-	0.3	-	0.9	0.12	Para este estudio los resultados de la investigación como el As, Cd, Hg, Pb y Zn no superan los ECAS para sedimento canadiense.							

ecosistemas acuáticos

Resultados de metales en mg/kg

Normativa canadiense mg/kg

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
									5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120
“Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro”	-	0.26	-	10	-		19	-	Para este estudio los resultados de la investigación como el As, Cd, Hg, Pb y Zn no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
“Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23° S, norte de Chile”	-	0.01	39	-	-	6	99	36	Para este estudio los resultados de la investigación como el Cu y Pb superan los ECAS para sedimento canadiense.							
“Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino-costeras del oriente de Venezuela”	1.00	-	30	-	-	30	90	80	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito superan los ECAS para sedimento canadiense. A excepción del As y Cu.							

## ecosistemas acuáticos

**Resultados de metales en mg/kg**
**Normativa canadiense mg/kg**

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
"Estudios sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú "	99.7	7.0	5.4	5.4	0.7	16.6	31.33	136.8	5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120
	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Cu, superan los ECAS para sedimento canadiense.															
“Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba”	1	-	45.48	-	-	-	16,76	69.6								
	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Cu, superan los ECAS para sedimento canadiense.															
“Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de los ríos de Guipuzcoa”	-	7.9	30	-	0.85	-	80	135								
	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Cu, Zn, superan los ECAS para sedimento canadiense.															
“Estudio de la contaminación por metales en sedimentos acuáticos de bahía de Matanzas”	18.5	-	-	-	-	53.3	-	119								
	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Hg, superan los ECAS para sedimento canadiense.															
“Contaminación de sedimentos del río Anoia por metales pesados (Barcelona- España)”	34.0	0.58	60.9	97.6	33.6	48.7	44.2	122.7								
	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es As, Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn, superan los ECAS para sedimento canadiense.															

ecosistemas acuáticos

Resultados de metales en mg/kg

Normativa canadiense mg/kg

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
									5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120
“Contaminación por metales pesados en los sedimentos de los ríos Tinima y Hatibonico, Camaguey, Cuba”	-	0.23	52	53	0.23	99	65	175	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Cu, superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna. Perú”	-	0.530	10.66	-	-	-	0.720	12.38	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito como es Cu, superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia "	-	-	-	-	-	-	-	-	Para este estudio no se tomaron los metales pesados con respecto a la normativa canadiense, pero si se evaluaron otros metales como Ca, Mg, Na y K para luego compararlo.							
"Acumulación de metales pesados en <i>Calamagrostis rigida</i> (Kunth Trin, es Steud. (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú"	-	0.44	3.83	-	-	-	0.13	190.4	Para este estudio los resultados de la investigación descrito como es Cu, superan los ECAS para sedimento canadiense.							

ecosistemas acuáticos

Resultados de metales en mg/kg

Normativa canadiense mg/kg

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
									5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120
“Estudio de trazas de metales en agua, sedimento y organismos bentónicos en áreas costeras de las regiones de Tacna y Moquegua.”		0.53	9.75	-	-	-	1.25	15.6	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) en Challhuahucho, Apurímac"	0.15	0.0025	0.1	-	0.0001	0.052	0.0025	0.12	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descritos no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
“Cuantificación de metales en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca- Perú”	-	0.06	-	-	-	-	35.0	123.0	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descrito no superan los ECAS para sedimento canadiense.							
"Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú"	57.42	72.19	63.64	51.06	75.02	-	38.59	89.74	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descritos si superan el rango establecido por la norma canadiense.							

ecosistemas acuáticos

Resultados de metales en mg/kg

Normativa canadiense mg/kg

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
									5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120
"Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos, Campeche, Mexico"	-	0.44	-	-	-	41.86	9.96	-	Para este estudio los resultados de la investigación los metales descritos Ni si superan el rango establecido por la norma canadiense.							
"Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela"	-	-	9.45	0.78	-	-	2.00	83.10	Para este estudio los resultados de la investigación metales descritos no superan el rango establecido por la norma canadiense.							
"Bioacumulación de cobre en la diatomea marina <i>Phaeodactylum tricornutum</i> Bohlin"	-	-	0.25	-	-	-	-	-	Para este estudio solo de identificó un metal evaluado para la investigación, esa no supera el rango establecido por la norma canadiense.							
"Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina"	1.19	0.97	57.32	121.36	-	48.75	273.47	84.80	Para este estudio los resultados de la investigación metales descritos si superan el rango establecido por la norma canadiense.							

ecosistemas acuáticos

**Resultados de metales en mg/kg**

**Normativa canadiense mg/kg**

Título de la investigación	Resultados de metales en mg/kg								Normativa canadiense mg/kg							
	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
"Determinación del contenido de metales pesados en las fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la Ciénaga grande de santa marta, Colombia "	-	1.04	9.65	34.57	-	16.5	29.2	65.0	5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120

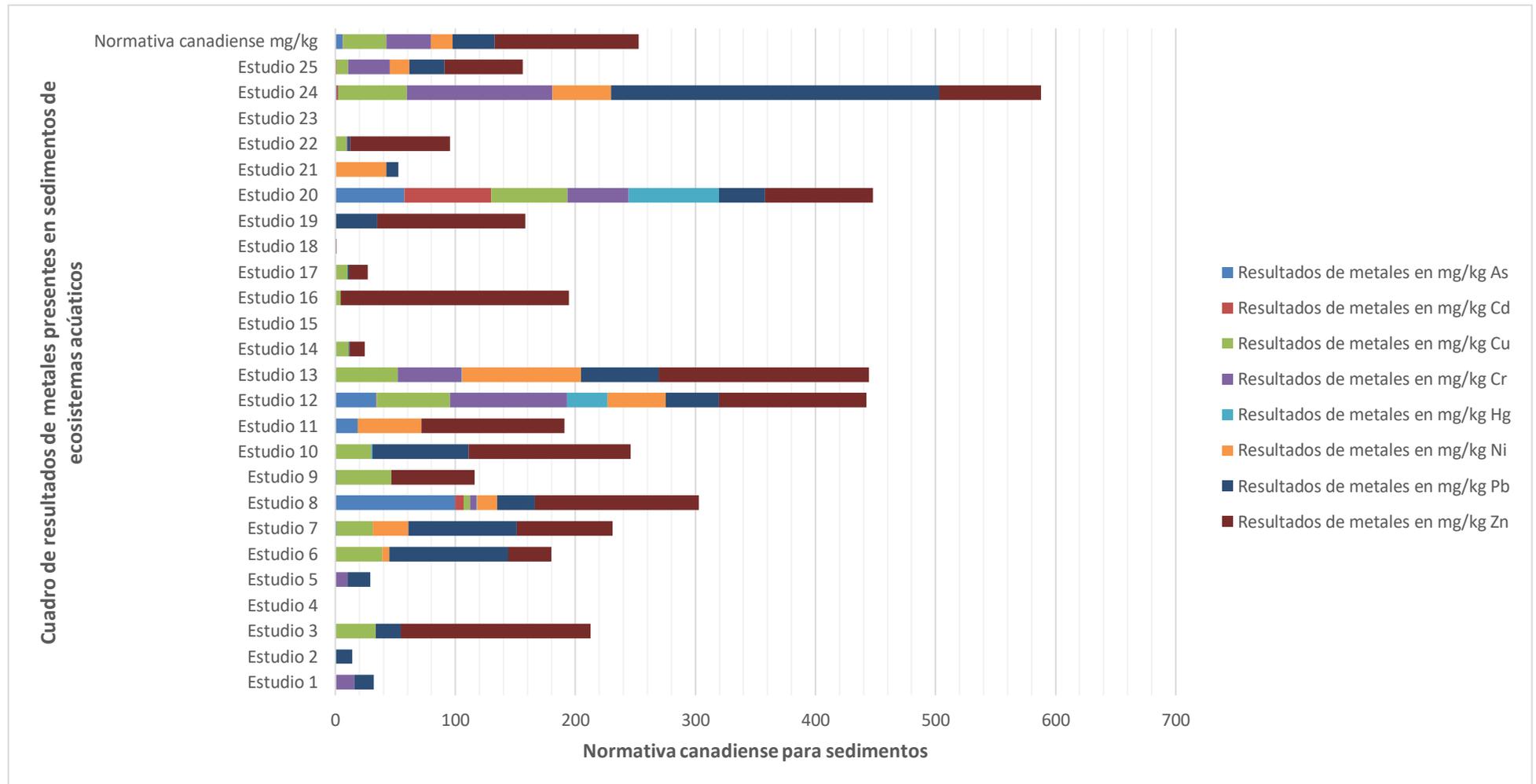
Para este estudio los resultados de la investigación metales descritos si superan el rango establecido por la norma canadiense.

**Tabla 3:**

*Tabla general de los resultados de metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos*

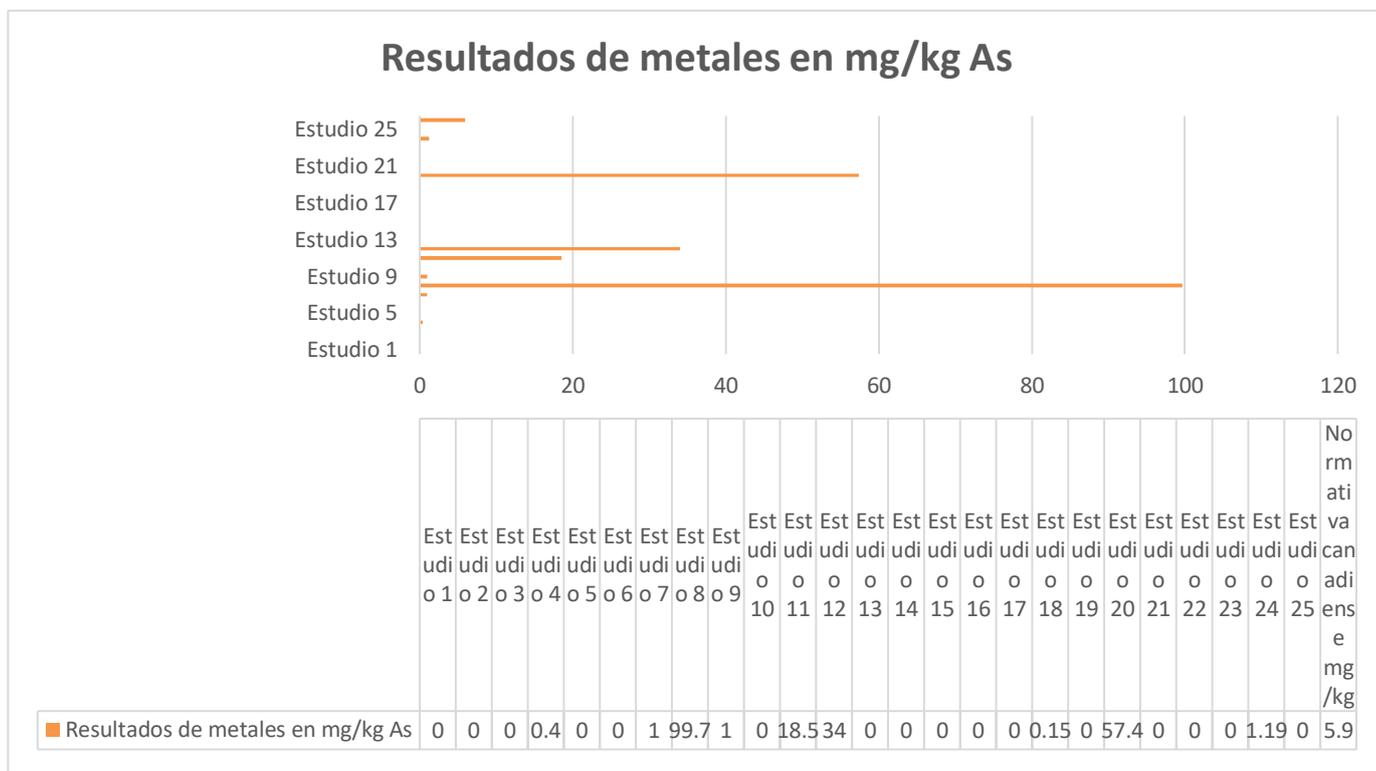
<b>N° de estudios</b>	<b>Resultados de metales en mg/kg</b>							
<b>Simbología</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>Estudio 1</b>	0	0.7	0	14.8	0	0	16.5	0
<b>Estudio 2</b>	0	0	0	0	0.085	0	14	0
<b>Estudio 3</b>	0	0	33.8	0	0	0	20.9	158
<b>Estudio 4</b>	0.4	0	0	0	0.3	0	0.9	0.12
<b>Estudio 5</b>	0	0.26	0	10	0	0	19	0
<b>Estudio 6</b>	0	0.01	39	0	0	6	99	36
<b>Estudio 7</b>	1	0	30	0	0	30	90	80
<b>Estudio 8</b>	99.7	7	5.4	5.4	0.7	16.6	31.33	136.8
<b>Estudio 9</b>	1	0	45.48	0	0	0	16,76	69.6
<b>Estudio 10</b>	0	7.9	30	0	0.85	0	80	135
<b>Estudio 11</b>	18.5	0	0	0	0	53.3	0	119
<b>Estudio 12</b>	34	0.58	60.9	97.6	33.6	48.7	44.2	122.7
<b>Estudio 13</b>	0	0.23	52	53	0.23	99	65	175
<b>Estudio 14</b>	0	0.53	10.66	0	0	0	0.72	12.38
<b>Estudio 15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Estudio 16</b>	0	0.44	3.83	0	0	0	0.13	190.4
<b>Estudio 17</b>	0	0.53	9.75	0	0	0	1.25	15.6
<b>Estudio 18</b>	0.15	0.0025	0.1	0	0.0001	0.052	0.0025	0.12
<b>Estudio 19</b>	0	0.06	0	0	0	0	35	123
<b>Estudio 20</b>	57.42	72.19	63.64	51.06	75.02	0	38.59	89.74
<b>Estudio 21</b>	0	0.44	0	0	0	41.86	9.96	0
<b>Estudio 22</b>	0	0	9.45	0.78	0	0	2	83.1
<b>Estudio 23</b>	0	0	0.25	0	0	0	0	0
<b>Estudio 24</b>	1.19	0.97	57.32	121.36	0	48.75	273.47	84.8
<b>Estudio 25</b>	0	1.04	9.65	34.57	0	16.5	29.2	65
<b>Normativa canadiense mg/kg</b>	5.9	0.6	36	37	0.17	18	35	120

ecosistemas acuáticos



**Figura 1:** Resultados de metales pesados para sedimentos en ecosistemas acuáticos.

A continuación se describen cada uno de los metales comparados con la Normativa Canadiense de los diferentes artículos científicos estudiados.



**Figura 2:** Resultados de As

En la figura 2 se muestra los resultados de metales pesados para sedimentos de ecosistemas acuáticos, se puede observar claramente que en el estudio 8 la concentración de Arsénico es muy elevada con un 99,7 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 5.8 mg/kg para este metal, Este resultado sugiere que residuales vertidos al río Yara, por el sistema pluvial, provenientes de la fábrica de Acumuladores constituyen la principal causa del incremento de los niveles de As en la zona de estudio.

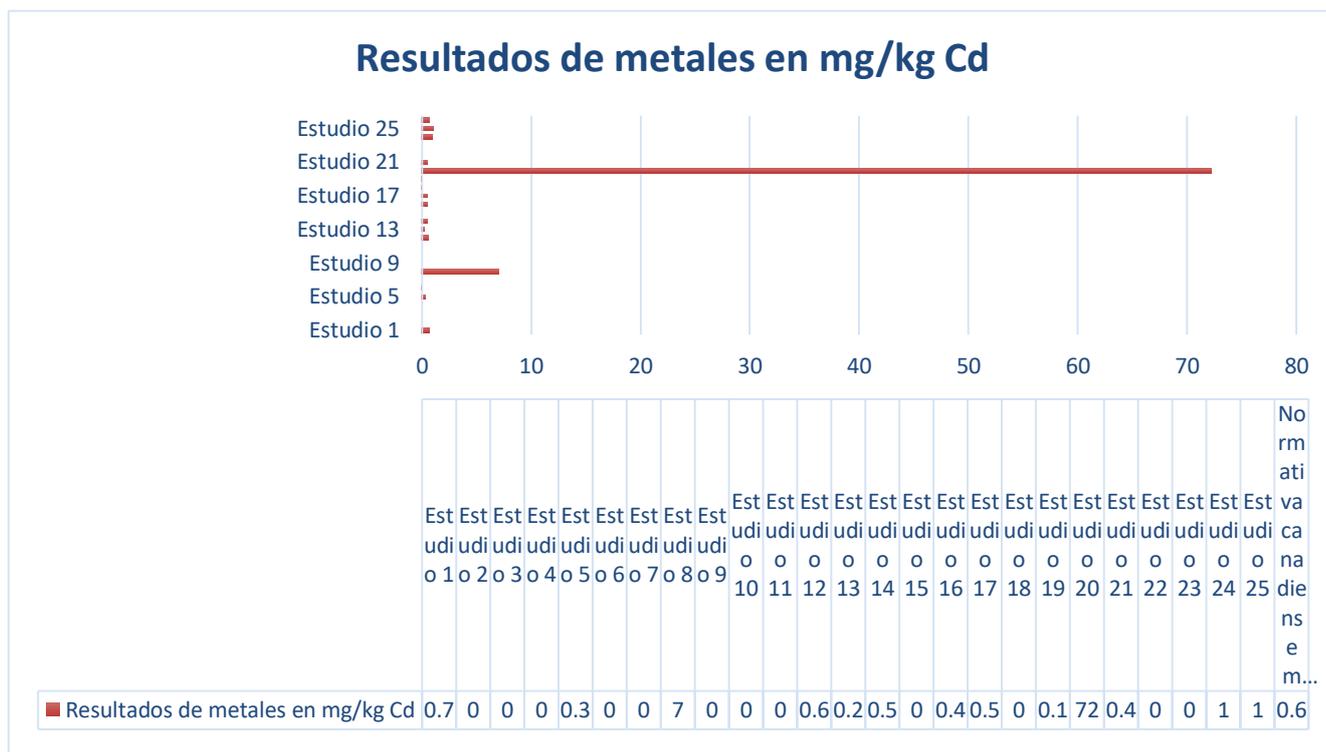
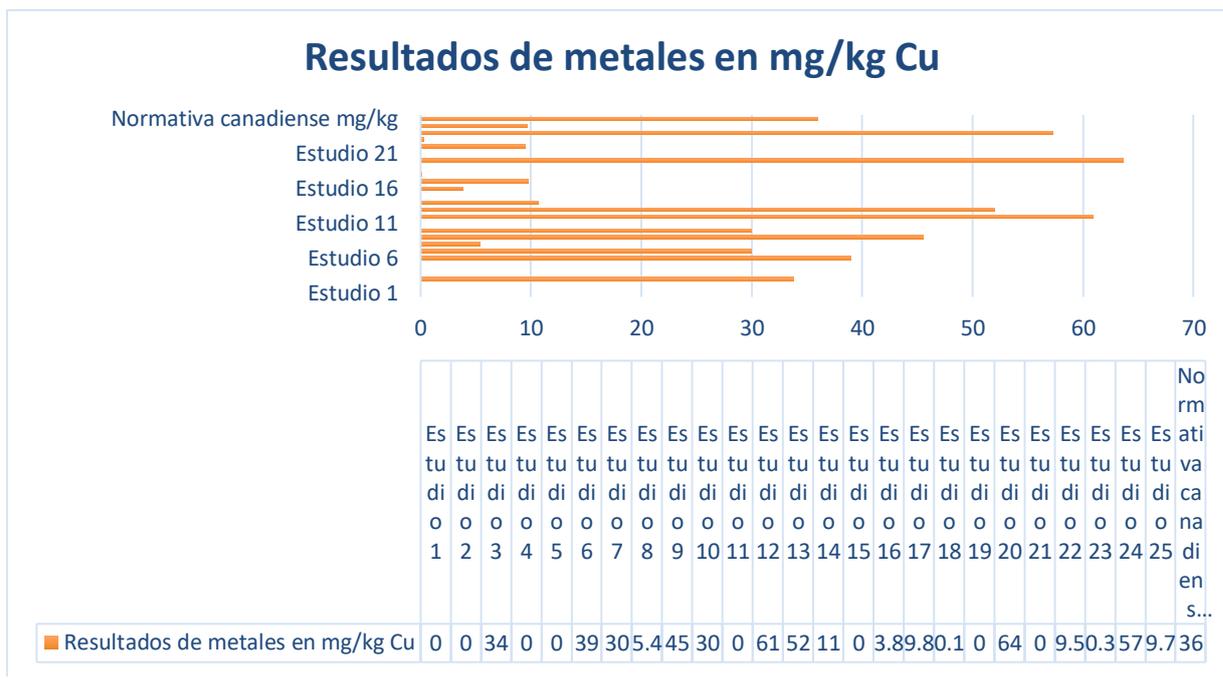


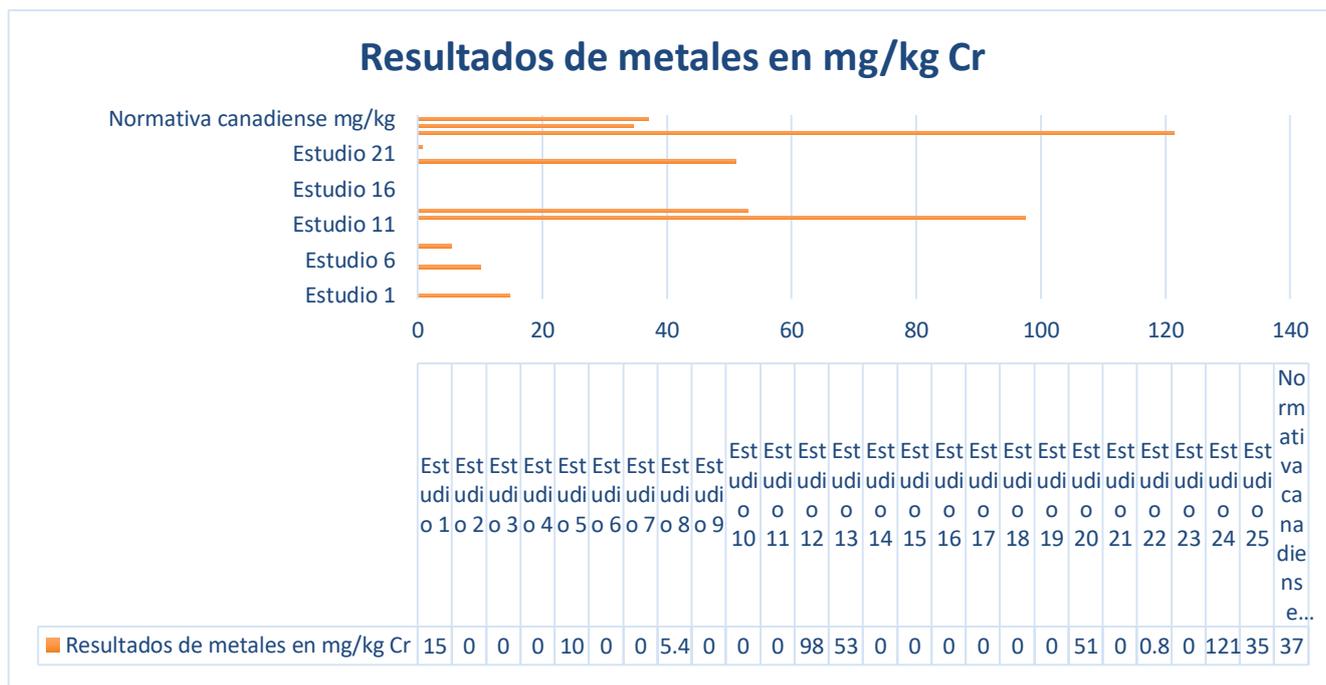
Figura 3: **Resultados de Cd**

En la figura 3, se puede apreciar que el estudio 20 la concentración de Cadmio es muy elevado con un 72,19 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 0.6 mg/kg para este metal, Este resultado pudo deberse a que las estaciones próximas a la zona litoral, al tener los valores más elevados deberán limitarse cualquier actividad de pesca formal e informal, ya que los organismos podrían bioconcentrar metales, en este caso debe considerarse evaluar la concentración de los metales totales en la vegetación y fauna acuática para indicar su posible riesgo toxicológico debido a, factores de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica.



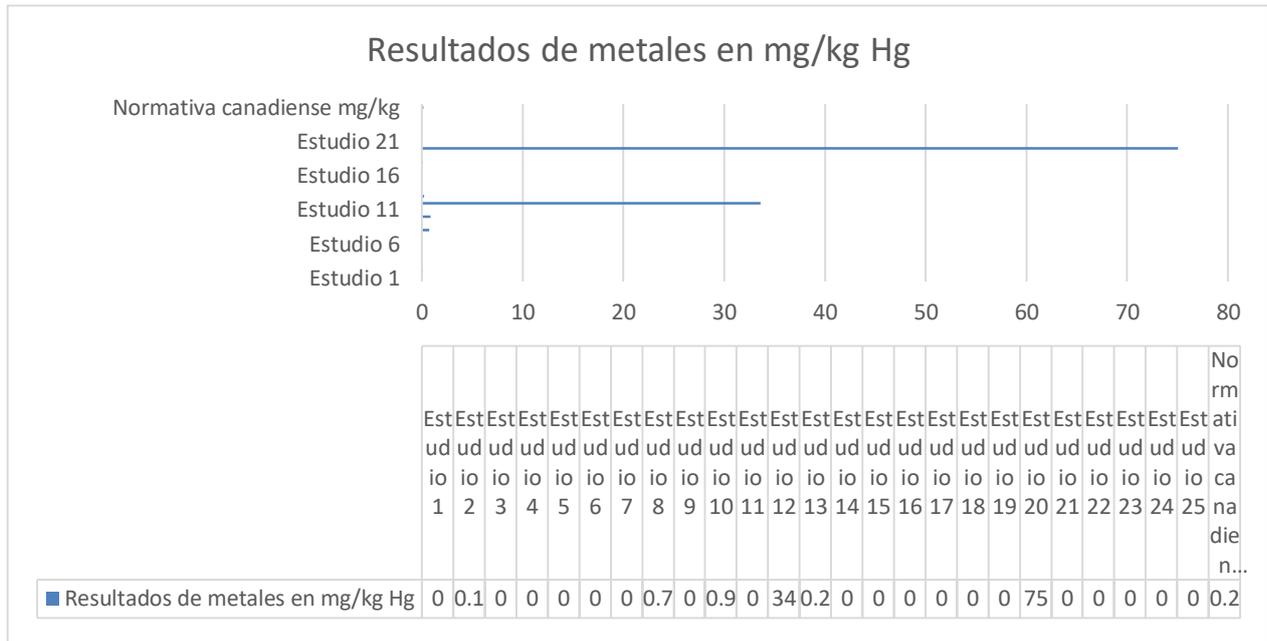
**Figura 4:** Resultados de Cu

En la figura 4, se puede apreciar que el estudio 20 también presenta la mayor concentración de Cobre con un 63.64 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 36 mg/kg para este metal, Este resultado pudo deberse también a que las estaciones próximas a la zona litoral, al tener los valores más elevados deberán limitarse cualquier actividad de pesca formal e informal, ya que los organismos podrían bioconcentrar metales, en este caso debe considerarse evaluar la concentración de los metales totales en la vegetación y fauna acuática para indicar su posible riesgo toxicológico debido a, factores de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica.



**Figura 5:** Resultados de Cr

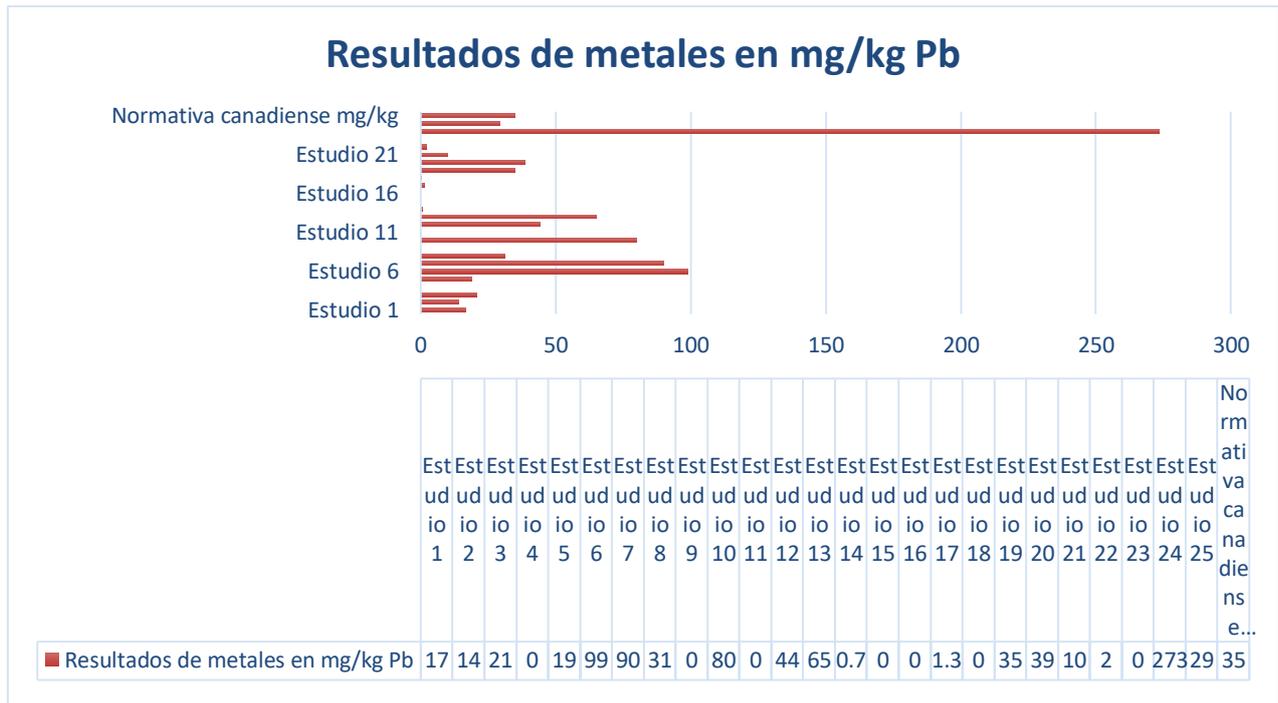
En la figura 5, se puede apreciar que el estudio 24 presenta la mayor concentración de Cromo con un 121.34 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 37 mg/kg para este metal, Este resultado nos indica que la bioacumulación de estos metales pesados en las microalgas marinas es de particular importancia ya que estas constituyen el primer eslabón de cadena trófica marina. Los resultados que se pudo obtener muestran que la mayor parte de cromo acumuladas por las células de *Phaeodactylum tricomutum* se encuentra unido a las superficies de las mismas, es decir la cantidad de cromo adherido a la superficie celular de esta diatomea aumenta con las concentraciones de cromo del medio, es por ello que se eleva el valor.



**Figura 6:** Resultados de Hg

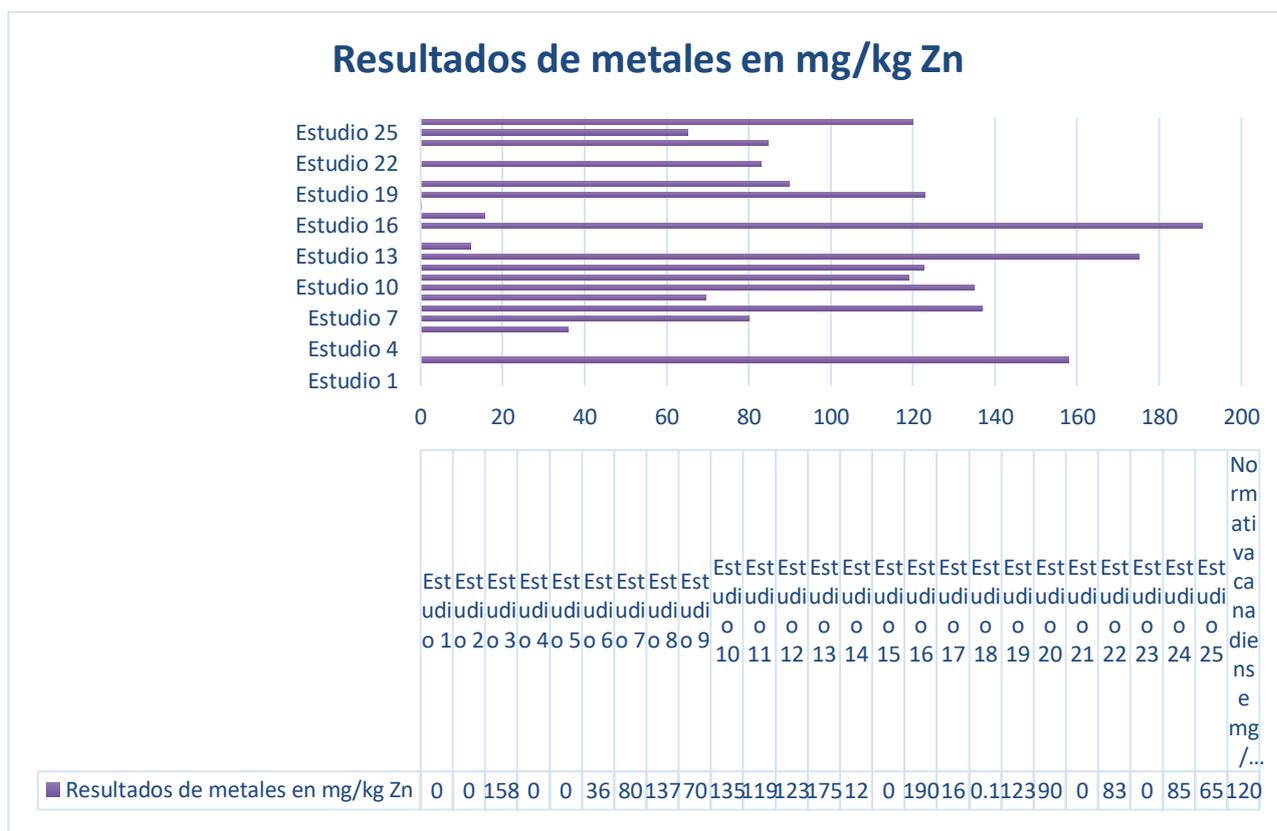
En la figura 6, se puede apreciar que el estudio 20 también presenta la mayor concentración de Mercurio con un 75.02 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 0.17 mg/kg para este metal, Este resultado pudo deberse también a que las estaciones próximas a la zona litoral, al tener los valores más elevados deberán limitarse cualquier actividad de pesca formal e informal, ya que los organismos podrían bioconcentrar metales, en este caso debe considerarse evaluar la concentración de los metales totales en la vegetación y fauna acuática para indicar su posible riesgo toxicológico debido a, factores de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica.





**Figura 8:** Resultados para Pb

En la figura 8, se puede apreciar que el estudio 24 también presenta la mayor concentración de Plomo con un 273.47 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 35 mg/kg para este metal, Este resultado nos indica que la bioacumulación de estos metales pesados en las microalgas marinas es de particular importancia ya que estas constituyen el primer eslabón de cadena trófica marina. Los resultados que se pudo obtener muestran que la mayor parte de plomo acumuladas por las células de *Phaeodactylum tricomutum* se encuentra unido a las superficies de las mismas, es decir la cantidad de plomo adherido a la superficie celular de esta diatomea aumenta con las concentraciones de plomo del medio, es por ello que se eleva el valor.



**Figura 9:** Resultados para Zn

En la figura 9, se puede apreciar que el estudio 16 presenta la mayor concentración de Zinc con un 190.4 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 120 mg/kg para este metal, Este resultado se debió a que los atributos de calidad y contaminación del agua en todos los puntos muestreados evidenciaron un agua poco recomendable para el consumo humano, al Zinc como el mayor contaminante de éstas, al índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) como el indicador de contaminación de mayor relevancia en Flandes, Ambalema y Honda. Los sedimentos del río deben ser tenidos en cuenta como grandes reservorios de información de la calidad del cuerpo de agua.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

De los estudios del análisis de contaminación de metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos según los metales extraídos de los estudios y comparados con la Normativa Canadiense de sedimentos (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), todos arrojan valores muy elevados que sobrepasan la Normativa canadiense para sedimento. Se detalla que el estudio 8 presenta un 99,7 mg/kg de Arsénico superando el valor de la Normativa canadiense que es 5.8 mg/kg para este metal. Este resultado sugiere que residuales vertidos al río Yara, por el sistema pluvial, provenientes de la fábrica de Acumuladores constituyen la principal causa del incremento de los niveles de As en la zona de estudio (Amat, Pierra, Casals y Vásquez, 2002). Siendo similares a los otros estudios comparados, que también sobrepasan los valores de la Normativa, Amat, Pierra, Casals y Vásquez, (2002) en su estudio 20 la concentración de Cadmio es muy elevado con un 72,19 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 0.6 mg/kg para este metal, Este resultado pudo deberse a que las estaciones próximas a la zona litoral, al tener los valores más elevados deberán limitarse cualquier actividad de pesca formal e informal, ya que los organismos podrían bioconcentrar metales, en este caso debe considerarse evaluar la concentración de los metales totales en la vegetación y fauna acuática para indicar su posible riesgo toxicológico debido a, factores de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica, en el mismo estudio las concentraciones de Cobre con un 63.64 mg/kg superan el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 36 mg/kg para este metal; así mismo sucede con la concentración de Mercurio con un 75.02 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 0.17 mg/kg.

En el estudio 24 de Contreras, Mendoza y Gómez, (2004), presenta la mayor concentración de Cromo con 121.34 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 37 mg/kg para este metal, Este resultado indica que la bioacumulación de estos metales pesados en las microalgas marinas es de particular importancia ya que estas constituyen el primer eslabón de cadena trófica marina. Los resultados que se pudo obtener muestran que la mayor parte de cromo acumuladas por las células de *Phaeodactylum tricomutum* se encuentra unido a las superficies de las mismas, es decir la cantidad de cromo adherido a la superficie celular de esta diatomea aumenta con las concentraciones de cromo del medio, es por ello que se eleva el valor, en el mismo estudio se presentó una concentración de Plomo con 273.47 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 35 mg/kg para este metal. En el estudio 13 de Márquez, Fernández, del Toro y Goehler, (2005) se presenta una concentración de Níquel con un 99 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 0.17 mg/kg para este metal, Este resultado según el autor se debió a que los niveles máximos de Níquel pueden estar influidos por el descenso del caudal que favorece la acumulación de partículas finas superficiales además el estudio indica que la mayoría de los puntos de muestreo están contaminados por níquel. El estudio 16 presentado por León y Lucero, (2015), se presentó una concentración de Zinc con 190.4 mg/kg superando el valor de la Normativa canadiense para sedimento que es 120 mg/kg para este metal, Este resultado según afirma el autor se debió a que los atributos de calidad y contaminación del agua en todos los puntos muestreados evidenciaron un agua poco recomendable para el consumo humano, al zinc como el mayor contaminante de éstas, al índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) como el indicador de contaminación de mayor relevancia.

## 4.2. Conclusiones

- ✓ Se da respuesta a la formulación de la pregunta “el grado de contaminación del agua por metales pesados ocasiona la acumulación de estos en los sedimentos y la bioacumulación en los ecosistemas acuáticos”, los estudios analizados lo comprueban.
- ✓ Se determinó los rangos de concentraciones de metales pesados presentes en los sedimentos de ecosistemas acuáticos.
- ✓ Se comparó los resultados de análisis de los metales pesados con los valores umbrales de la normativa canadiense. *Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation*. logrando, donde se determina a los estudios que presentan mayor contaminación por metales pesados entre ellos están el As ( 99.7 en el estudio 8), Cd (72.19, estudio 20), Cu ( 63.64, estudio 20), Cr (121.36, estudio 24), Hg (75. 02, estudio 20), Ni (99, estudio 13), Pb, (273.47, estudio 24), Zn ( 190.4, estudio 24).
- ✓ Se corrige la hipótesis “los resultados de metales pesados en sedimentos no superan lo establecido por las normas canadienses. *Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation*, se anula esta respuesta ya que los artículos cinéticos analizados demuestran en varios estudios que si presentan una alta concentración de metales pesados.

## REFERENCIAS

- Quispe et al. (2019), "Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú " Recuperado el 11 de mayo de 2020, de:[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602019000200003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602019000200003&script=sci_arttext)
- González et al. (2018) Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM (II-FIGMMG-UNMSM, 2018) Ayala, R., Calderón, E., Rascón, J., Gomes, V. y Collazos, R. (2019). Recuperado de : <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/14995-Texto%20del%20art%C3%ADculo-51540-3-10-20180808.pdf>
- Calderón y Valdés, "Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile" Recuperado de : <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110.pdf>
- Reyes, Vergara, Torres, Díaz y González, (2016), "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro" "Contaminación por metales pesados: implicación en salud, ambiente, y seguridad alimentaria" recuperado de: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110.pdf>
- Herrera, Rodríguez, Coto, Salgado, Bortón, (2012), "Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23° S, norte de Chile". Recuperado de: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-560X2012000200003](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2012000200003)
- Castro y Valdés, (2012). "Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de seis regiones marino-costeras del oriente de Venezuela" Carrera, S. y Florián, A. (2013). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) con lenteja de agua. Recuperado de:

<https://www.researchgate.net/publication/308296419> [CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE SEIS REGIONES MARINO-COSTERA DEL ORIENTE DE VENEZUELA.](#)

Grau, (2009). “Estudio de la contaminación por metales pesados en sedimentos y ostiones de la bahía de Manzanillo, Cuba” Recuperado de:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932002000400011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932002000400011)

Millán, (1989), “Contaminación por metales pesados en sedimentos superficiales de los ríos de Guipuzcoa” Condori, E., y Salvador, E. (2014). Monitoreo y evaluación del

tratamiento de aguas residuales domesticas con biodigestores en la comunidad Alto Ayraucollana-provincia de Espinar–Cusco-2014. (tesis pregrado) Recuperado de:

<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/DANIEL%20DEL%20OLMO%20RODRIGUEZ.pdf>

Quevedo et al, (2012) Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (ICTM, 2012), “Estudio de la contaminación por metales en sedimentos acuáticos de bahía de Matanzas”. Recuperado de

[:file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Estudio%20de%20metales%20pesados%20en%20sedimentos%20de%20la%20cuenca%20del%20Jequetepeque.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Estudio%20de%20metales%20pesados%20en%20sedimentos%20de%20la%20cuenca%20del%20Jequetepeque.pdf)

Rodríguez, (2005). “Contaminación de sedimentos del río Anoia por metales pesados (Barcelona- España)” Espinoza, M. y Lucero, A. (2010). Estudio de *Eichhornia*

*crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitario y unifamiliares del cantón

Cotacachi (Bachelor's thesis). Recuperado de

<http://www.upb.edu/sites/default/files/7RosasN5.pdf>

Márquez, Fernández, del Toro y Goehler, 2005, "Contaminación por metales pesados en los

sedimentos de los ríos Tinima y Hatibonico, Camaguey, Cuba". Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543687019.pdf>

Ibárcena, (2011). "Estudio de la contaminación por metales pesados en las costas de Tacna.

Perú. Recuperado de: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/238-Texto%20del%20art%C3%ADculo-432-1-10-20190422%20(1).pdf

Ortiz, Delgado, Pardo, Murillo y Guio, (2015). "Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena-tramo Tolima, Colombia"

Recuperado de : <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeMetalesPesadosEIndicesDeCalidadEnAg-5710210.pdf>

León y Lucero, (2015) "Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth Trin, es Steud. (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del

Perú"residuales domésticas. Recuperado de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a10v24n2.pdf>

Instituto del Mar del Perú, (2002). "Estudio de trazas de metales en agua, sedimento y organismos bentónicos en áreas costeras de las regiones de Tacna y Moquegua."

Recuperado de : [http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe\\_3\) informe final trazas de metales\\_mobop.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_3) informe final trazas de metales_mobop.pdf)

Zevallos, (2018). "Calidad de agua, bioacumulación de metales pesados y niveles de estrés en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en Challhuahucho, Apurímac"

recuperado de: [http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3645/Calidad\\_ZevallosDeLaTorre\\_Samanta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3645/Calidad_ZevallosDeLaTorre_Samanta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Moreno, Argota, Alfaro Aparicio, Atencio y Camacho (2018). "Cuantificación de metales

en sedimentos superficiales de la bahía interior, lago Titicaca- Perú" Recuperado de:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2313-29572018000100002](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572018000100002)

Cahuana y Aduvire, (2013). "Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación

acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros

en el Perú" Recuperado de : [https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/LCahuana-](https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/LCahuana-OAduvire_Bioacumulacion_de_metales_pesados_en_tejidos_de_vegetacion_2018.pdf)

[OAduvire Bioacumulacion de metales pesados en tejidos de vegetacion 2018.pdf](https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/LCahuana-OAduvire_Bioacumulacion_de_metales_pesados_en_tejidos_de_vegetacion_2018.pdf)

De la Cruz, Alderete y Laffón, (2013). "Acumulación de metales pesados en sedimentos del

ecosistema manglar en laguna de términos, Campeche, Mexico" recuperado de :

<https://www.redalyc.org/pdf/497/49728291003.pdf>

Márquez, Senior, Fermín, Gregorio, Castañeda y González, (2008). "Cuantificación de las

concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de

Unare, estado Anzoátegui, Venezuela" recuperado de :

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592008000100012](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592008000100012)

Abalde, Torres y Herrero, (1995). "Bioacumulación de cobre en la diatomea marina

*Phaeodactylum tricornutum* Bohlin" Recuperado de:

[https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6412/pg\\_033](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6412/pg_033)

[040\\_nacc5.pdf?sequence=1](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/6412/pg_033_040_nacc5.pdf?sequence=1)

Contreras, Mendoza y Gómez, (2004). "Determinación de metales pesados en aguas y

sedimentos del río Haina" Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>

Espinoza, Parra y Villamil, (2011). "Determinación del contenido de metales pesados en las

fracciones geoquímicas del sedimento superficial asociado a los manglares de la

Análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos Ciénaga grande de santa marta, Colombia" Recuperado de:

<http://www.scielo.org.co/pdf/mar/v40n1/v40n1a01.pdf>

**ANEXOS**

**Anexo 1.** Normativa canadiense para sedientos Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation.

**Tabla 4:**

*Crterios para la evaluación de la calidad de los sedimentos de agua dulce.*

Metales y Arsénico	4.1	5.9	7.6	17	23
Metaloides	0,33	0,60	1.7	3.5	12
Cadmio	25	37	57	90	120
Cromo	22	36	63	200	700
Cobre	25	35	52	91 91	150
Plomo	0,094	0,17	0.25	0,49	0,87
Mercurio	D	D	47	D	D
Níquel	A	A	170	A	A
Zinc	K	K	0,07	K	K
	O	O	9	O	O
	T	T		T	T
Orgánico Bifenilos policlorados totales	A	A		A	A
compuestos (PCB) * *	D	D	D	D	D
Nonilfenol y sus etoxilatos	E	E	A	E	E
PCDD / PCDF (ng tox eq / kg)	L	L	L	L	L
Policíclico Acenafteno <sup>mi</sup>	N	N	K	N	N
aromático Acenaftileno <sup>mi</sup>	O	O	O	O	O
hidrocarburos	R	R	T	R	R
Antraceno <sup>mi</sup>	T	T	A	T	T
Benzo [a]	E	E	D	E	E
antraceno	80	120	E	310	770
Benzo [a]	0,025	0,034	L	0.28	0,78
pireno		1.4	O	D	D
criseno		0,85	R	A	A
Dibenzo [a, h]		0.006	T	K	K
Antracen		7	E	O	O
Fluoranteno		0.005	10	T	T
Fluor		9	0,02	A	A
eno <sup>mi</sup>		0,047	1	D	D
2-metilnaftaleno		0,032	0,03	E	E
Naftalina		0,032	0	L	L
Fenantreno		0,057	0,11	N	N
Pireno		0.006	0,12	O	O
Organoclorado Clordano		2	0,15	R	R
pesticidas DDD * f		0,11	0,24	T	T
DDE * g	0.27	0,021	0,04	E	E
DDT * e, h	0.003	0.003	3	22	36
Dieldrin * *	7	5	0,008	0,008	0,94
Endrina	0.003	0.001	0,06	5	0,34
Epóxido de heptacloro	3	4	1	8	1.1
Lindano	0,016	0.001	0,06	0.004	0,76
	0,014	2	3	8	3.2
	0,011	9	0,12	7	1.6
		0.002	0,13	0,062	0,20
		7			

0,026	0.000	0.23	0.002	4.9
0.003	60	0.00	7	1,2
3	0.000	6 7	0.001	0,38
0,047	94	0.00	4	
0,010	0.000	0.00	DA	1,2
	10	8 5	KO	

**Tabla 5:**

*Criterios para la evaluación de la calidad de los sedimentos marinos.*

<i>Metales y Arsénico</i>	4.3	7	19	42	150
<i>Metaloides</i>	4.3	.	2.1	4.2	7
Cadmio	0,32	2	96	4.2	.
Cromo	30	0	42	160	2
Cobre	11	,	54	110	290
Plomo	18	6	0,29	110	230
Mercurio	años	7	D	0	180
Níquel	0,051	52	A	,	1
Zinc	D	19	K	7	.
<i>Orgánico Bifenilos policlorados totales</i>	A	30	O	0	4
<i>compuestos (PCB)</i>	K	0	T	D	D
Nonilfenol y sus etoxilatos <sup>C</sup>	O	,	A	A	A
PCDD / PCDF (ng tox eq / kg <sup>d, h</sup> )	T	1	D	K	K
<i>Policíclico Acenafteno</i>	A	3	E	O	O
<i>aromático Acenaftileno</i>	D	D	L	T	T
<i>hidrocarburos Antraceno</i>	E	A	N	A	A
Benzo [a] antraceno	L	K	O	D	D
Benzo [a] pireno Chrysene Dibenzo [a,h]	N	O	R	E	E
antraceno Fluoranthene	O	T	T	L	L
Fluoreno	R	A	E	N	N
2-metilnaftaleno	T	D	180	O	O
Naftaleno Fenantreno Pireno	E	E	0,05	R	R
<i>Organoclorado Clordano</i>	70	L	9	T	T
	0,012	N		E	E
		O		270	430
		R	D	0	0
	D	T	A	,	,
	A	E	K	1	4
	K		O	9	9
	O	1	T		
		2			

T	0.001	A	0.007	
A	0.002	D	0,37	D
D	0.001	E	0.004	A
E	0.000	L	0.004	K
L	0.000	N	0,062	O
N	0.002	O	0.002	T
O	0.000	R	0.002	A
R	0.000	T	0.000	D
T	0.000	E	0.000	E
E	0.000	10	0.000	L

**Tabla 6:**

*Estándares Canadienses de calidad para sedimentos de cuerpos de agua dulce con la concentración de Níquel (Burton, 2003).*

Directriz de calidad de sedimentos	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn	Referencia
TEL1	5.9	0.6	37.3	35.7	35	0.17	18	123	a
ERL	33	5	80	700	35	0.15	30	120	a
LEL2	6	0.6	26	16	31	0.2	16	120	a
MET3	7	0.9	55	28	42	0.2	35	150	a
CB TEC	9.79	0.99	43.4	31.6	35.8	0.18	22.7	121	a
EC- TEL4	7.24	0.68	52.3	18.7	30.2	0.13	15.9	124	b
NOAA ERL5	8.2	12	81	34	46.7	0.15	20.9	150	c
ANZECC ERL5	20	12	81	34	47	0.15	21	200	d
ANZECC ISQG-low 5	20	1.5	80	65	50	-	21	200	d
SQAV TEL-HA28 6	11	0.58	36	28	37	0.3	20	98	e
SQO Netherlands Target	2.9	0.8	80	36	85	0.15	-	140	d

<b>Directriz de calidad de sedimentos</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Hg</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Referencia</b>
<b>Hong Kong /SQC- Low 7</b>	8.2	1.5	-	65	75	0.28	40	200	d
<b>Flanders RV X8</b>	8.2	1.5	43	65	75	0.28	40	200	f
<b>EQS Human Health them (Lake Biwa)</b>	28	1	0.05	20	0.1	35	28	168	g
<b>Slightly Elevated Stream Sediment 9</b>	0.01	0.01	80	-	0.01	0.0005	-	80	h