



**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

## **TESIS**

**NIVEL DE METALES PESADOS EN AGUAS SUPERFICIALES DE  
LAS CUENCAS DEL RÍO ABUJAO, SEPAHUA Y UCAYALI EN EL  
PERIODO DEL 2003 AL 2015**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**PAUL ERICK CAVERO EGUSQUIZA SORIA**

**PUCALLPA - PERÚ**

**JUNIO 2018**

## ÍNDICE

Página

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	iii

### **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

1.1. Descripción de la realidad problemática .....	1
1.2. Delimitación y definición del problema .....	5
1.2.1. Delimitación espacial .....	5
1.2.2. Delimitación temporal.....	5
1.2.3. Delimitación social .....	5
1.2.4. Delimitación conceptual .....	6
1.3 Formulación del problema .....	6
1.3.1. Problema principal .....	6
1.4. Objetivos de la investigación .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
1.5. Hipótesis general.....	7
1.6. Variables e indicadores.....	7
1.6.1. Variable de investigación .....	7
1.6.2. Indicadores.....	8
1.7. Viabilidad de la investigación .....	8
1.7.1. Viabilidad económica .....	8
1.7.2. Viabilidad técnica .....	8
1.7.3. Viabilidad operativa.....	8
1.8 Justificación e importancia de la investigación.....	9
1.8.1 Justificación.....	9
1.8.2. Importancia .....	11
1.9. Limitaciones de la investigación .....	12

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1 . Antecedentes de la investigación .....	13
2.1.1. A nivel internacional .....	13
2.1.2. A nivel nacional .....	15
2.1.3. A nivel local .....	19
2.2 . Bases teóricas.....	19
2.2.1. Generalidades sobre contaminación del agua .....	19
2.2.2. Origen sobre la contaminación del agua... ..	21
2.2.2.1. Origen natural .....	21
2.2.2.2. Origen antropogénico.....	22
2.2.2.3. Origen agropecuario... ..	22
2.2.2.4. Origen industrial .....	22
2.2.2.5. Origen doméstico y urbano.....	23
2.2.3. Metales pesados... ..	24
2.2.4. Metales pesados y sus efectos sobre la salud .....	25
2.2.4.1. Arsénico .....	25
2.2.4.2. Cadmio .....	31
2.2.4.3. Plomo .....	33
2.2.4.4. Talio.....	38
2.2.4.5. Mercurio.....	41
2.2.4.6. Cobalto .....	47
2.2.4.7. Cobre.....	48
2.2.4.8. Zinc.....	50
2.2.5. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua .....	52

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

31. .Tipo y nivel de investigación.....	55
3.1.1. Tipo de investigación.....	55
3.1.2. Nivel de investigación.....	55
32 .Método y diseño de la investigación.....	56
3.2.1. Método de la investigación.....	56
3.1.2. Diseño de la investigación.....	56
33 .Población y muestra.....	56
3.2.1. Muestreo y obtención de datos .....	56

34	.Técnicas e instrumentos para la recolección de datos... ..	57
	3.4.1. Técnica.....	57
	3.4.2. Instrumento .....	57
35	.Plan de recolección, procesamiento y análisis de datos .....	58
36	.Plan de análisis de datos.....	58
	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
	<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....</b>	<b>66</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>69</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	
	<b>BIBLIOGRÁFICAS</b>	
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>Anexo 1:</b> Formato de recolección de datos	
	<b>Anexo 2:</b> Matriz de consistencia	

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la fuerza espiritual, mental y física para continuar y hacer posible el logro de esta meta.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Alas Peruanas por darme la oportunidad de lograr mi meta de ser profesional.

A todos mis docentes, por sus enseñanzas, por su paciencia y dedicación para transmitir sus conocimientos y experiencias y fortalecer mis aprendizajes.

## **ÍNDICE DE TABLAS**

1. Determinación de metales pesados en la Cuenca del Rio Abujao y sus afluentes del 2003 al 2006. .... pag 60
2. Determinación de metales pesados en la Cuenca del Rio Sepahua y sus afluentes – 2015. ....pag. 62
3. Determinación de metales pesados en la Cuenca del Río Ucayali y sus afluentes: 2014 – 2015..... pag. 64

## RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el nivel de metales pesados en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali en el periodo del 2003 al 2015. Investigación de nivel descriptivo, transeccional, retrospectivo; mediante la técnica de observación y revisión documental se ubicó la información histórica de 41 puntos de muestreo y de igual número de muestras de agua, que fueron analizadas en el Laboratorio Ambiental de DIGESA mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica, los datos fueron recolectados en un formato de registro, procesada en el programa Excel y analizada mediante estadística básica simple.

Los resultados obtenidos en la cuenca del río Abujao y afluentes muestra niveles altos de Plomo 0.030 mg/L hasta 2.174 mg/L, Zinc 0.156 hasta 4.099 mg/L, Cadmio 0.012 mg/L, Cobre 0,129 y 1,159 mg/L, Cromo 0,064 y 0,127 mg/L y Mercurio en la quebrada Shimbilla y Huayhuantal. La cuenca del río Sepahua muestra niveles bajos de Arsénico desde 0,0033 hasta 0,0042 mg/L, Bario 0,08 hasta 0,13 mg/L, Cadmio 0,001 mg/L, Cobre 0,003 hasta 0.01 mg/L, Cromo 0,002 hasta 0,009 mg/L, Níquel 0,01 mg/L y Zinc 0,02 hasta 0,05 mg/L. En la cuenca del río Ucayali la determinación de metales pesados muestra niveles altos de Arsénico 1 mg/L y Plomo con valores desde 0,0028 hasta 0,0061 mg/L.

Se concluye que durante el periodo de estudio del 2003 al 2015, los niveles de Plomo, Mercurio, Zinc, Cadmio, Cobre, Cromo identificados en la cuenca del río Abujao; así como Arsénico y Plomo detectados en la Cuenca del río Ucayali sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el Río Mishagua afluente de la cuenca del río Sepahua los niveles de Arsénico, Bario, Cobre, Cromo, Zinc, Cadmio y Níquel identificados se encuentran por debajo del Límite Máximo Permissible (LMP).

**Palabras Clave:** Nivel, metales pesados, aguas superficiales

## ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of determining the level of contamination by heavy metals in the basins of the Abujao, Sepahua and Ucayali rivers in the period from 2003 to 2015. Investigation of descriptive level, transectional, retrospective; through the technique of observation and documentary review, the historical information of 41 sampling points and the same number of samples of surface water was located, which were analyzed in the DIGESA Environmental Laboratory by the technique of atomic absorption spectrometry, the data were collected in a record format, processed in the excel program and analyzed by simple basic statistics.

The results in the Abujao River Basin and tributaries show high levels of Lead contamination 0.030 mg/L to 2,174 mg/L, Zinc 0.156 to 4.099 mg/L, Cadmium 0.012 Mg/L, Copper 0.129 and 1.159 mg/L, Chromium 0.064 and 0.127 mg/L and Mercury in the Shimbillal and Huayhuantal ravines. The Sepahua River shows low levels of Arsenic contamination from 0.0033 to 0.0042 mg/L, Barium 0.08 to 0.13 mg/L, Cadmium 0.001 mg/L, Copper 0.003 to 0.01 mg/L, Chromium 0.002 to 0.009 mg/L, Nickel 0.01 mg/L, Zinc 0.02 to 0.05 mg/L. In the Ucayali River basin, the determination of heavy metals shows high levels of contamination by Arsenic 1 mg/L and Lead with values from 0.0028 to 0.0061 mg/L.

It is concluded that during the period of study from 2003 to 2015, the levels of Lead, Mercury, Zinc, Cadmium, Copper, Chromium identified in the Abujao River basin; as well as Arsenic and Lead detected in the Ucayali River Basin exceed the Maximum Permissible Limits (LMP). In the Mishagua River tributary of the Sepahua River basin, the levels of Arsenic, Barium, Copper, Chromium, Zinc, Cadmium and Nickel identified are below the Maximum Permissible Limit (LMP).

**Keywords:** Level, heavy metals, surface water

## INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible. (Monge, 2004)

Los ríos, lagos, lagunas y humedales son una fuente importante de agua dulce, sin embargo, son los acuíferos subterráneos los que aportan hasta un 98% de las fuentes de agua dulce accesibles al uso humano, ya que se estima que representan el 50% del total de agua potable en el mundo. (Rodríguez, 2003)

Desde las últimas décadas existe gran preocupación por la contaminación en los ecosistemas acuáticos debido a la presencia de metales pesados, los cuales son persistentes en el medio y para los organismos que habitan en dicho medio son potencialmente peligrosos.

Pese a las evidencias de los graves impactos en la salud que se presentan en varias zonas con presencia minera en nuestro país, poco es lo que se ha hecho en materia de políticas públicas orientadas a proteger a las poblaciones. La minería informal es una clara muestra de una agenda de derechos que vienen siendo afectados por décadas y sin mayores respuestas desde el Estado. (Broederlijk, 2016)

Los metales pesados pueden provenir de fuentes naturales o antropogénicas, y se destacan por sus efectos tóxicos sobre los organismos acuáticos. Los compuestos que contienen metales pesados se pueden alterar; pero, los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo.

Los metales pesados son únicamente aquellos elementos químicos que tienen un peso atómico y peso específico concreto. La peligrosidad de los metales pesados está en que éstos se acumulan en nuestro organismo y no son eliminados. Estos compuestos son muy peligrosos para la salud y afectan a negativamente a nuestros órganos. Continuamente estamos expuestos a metales pesados, ya sea a través de los alimentos, a través del agua o del aire que respiramos. Los principales órganos que se ven dañados ante la acumulación de metales pesados en el organismo son los riñones, hígado, pulmones y también el sistema nervioso central y periférico. (Chiang, 1989)

En el Perú, (Álvarez Jaramillo, 2014) en su investigación para la determinación de Hierro, Cobre, Plomo, Cadmio, Cromo y Zinc utilizando el método de espectrofotometría de absorción atómica (EEA), encontraron que en todo los puntos de muestreo de la Cuenca del Ríos santa, tanto en creciente como en vaciante, superaron los límites máximos permisibles con respecto a la acumulación de plomo, Zinc y cromo comparados con los Límites Máximos Permisibles reportados por las Normas Internacionales.

En la Región Ucayali existentes antecedentes sobre la presencia de empresas mineras clandestinas dedicadas a la extracción de oro a través de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental se han realizado diversas acciones sanitarias relacionadas con el monitoreo de aguas superficiales en las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali, cuya información forma parte del presente estudio.

Así, en la presente investigación se plantea como objetivo determinar el nivel de metales pesados en aguas superficiales de las cuencas del río Abujao, Sepahua y Yarinacocha en el período del 2003 al 2015.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Los metales pesados comprenden un grupo de elementos químicos que presentan una masa atómica mayor a 60 que, ante la exposición al mismo, provoca toxicidad a los seres humanos. (MINSA)

La presencia de factores de riesgo condicionan la exposición o intoxicación a metales pesados con la capacidad de causar daño, debiendo mencionarse entre ellos a los factores de riesgo poblacional relacionado a la probabilidad e afectación a una población, los factores de riesgo ambiental referidas a la probabilidad de afectación a una población y los factores de riesgo ocupacional referido a la identificación de factores de riesgo a la salud por exposición a metales pesados en el desarrollo de la actividad laboral.

En la Región Ucayali, se tiene conocimiento sobre la presencia de estos factores de riesgo que condicionan la exposición de las personas o trabajadores a una fuente natural o antropogénico contaminada por metales pesados en poblaciones asentadas en las cuencas de los ríos Ucayali, Abujao y Sepahua.

## **Marco Legal**

- Ley General del Ambiente –Ley N° 28611
- Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental-Ley N° 28245
- Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental –Decreto Supremo N° 008-2005-PCM
- Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente-Decreto Legislativo N° 1013
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.-
- Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338

El Inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida señalado en su artículo 67° que el estado determina la política nacional del ambiente. (Constitucionales, 2015)

El artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida , y el deber contribuir a una debida gestión ambiental , así como sus componentes asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país. (SPIJ)

Según referencia del alcalde distrital de Sepahua, entre octubre y noviembre de 2014 a través del Instituto Nacional de Cultura, se captaron tres pacientes con reiterados problemas respiratorios en la comunidad (adultos y niños). Esta institución gestiona el traslado de estas personas a la ciudad de Lima para su atención respectiva y luego de una serie de exámenes entre ellas de orina se detecta niveles altos de mercurio.

En el mismo período, la Dirección Regional de Salud Ucayali a través de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, realizó intervención en la zona, de monitoreo de aguas superficiales y de consumo siendo el resultado negativo. En marzo de este mismo año, un equipo de representantes del

Instituto Nacional de Cultura, Oficina Nacional de Epidemiología, Oficina de Defensa Nacional y Dirección Regional de Salud de Ucayali ingresan a la comunidad Santa Rosa de Serjali para realizar el diagnóstico y toma de muestra de orina en algunos moradores.

El informe de las acciones de intervención, señala que el abastecimiento de agua para consumo humano es de los ríos Mishagua y Serjali, mediante acarreo con baldes, bandejas y ollas. Analizaron la toma de muestra de tres puntos, M1 Orilla del río Mishagua, frente al río Serjali. M2 Orilla del río Mishagua, frente al barrio Nuevo Serjali y M3 Orilla del río Serjali frente al barrio Nuevo San Martín. Los resultados presentan contaminación con coliformes totales y termo tolerantes por lo que no es apto para el consumo humano de manera directa. El resultado final fue emitido con los análisis de metales, hidrobiológicos y aceites grasas por la Dirección General de Salud ambiental.

Se ha concordado el Convenio de Cooperación Mutua entre la Dirección Regional de Salud de Ucayali y PLUSPETROL Perú Corporation S.A, cuyo objetivo es contribuir al liderazgo y el fortalecimiento de la Dirección Regional de Salud Ucayali, traduciéndose en el mejoramiento de los niveles de salud de la población de Santa Rosa de Serjali, ubicado en el Distrito de Sepahua, Provincia de Atalaya, Departamento de Ucayali; mediante la formalización de un Plan de Atención Integral, enmarcado en el Programa de Apoyo al Desarrollo Local del Plan de Relaciones Comunitarias de PLUSPETROL.

Ante la presencia de casos en personas afectadas por metales pesados mediante el consumo de agua de los ríos, y las fuentes antropogénico originadas por las actividades humanas, como actividades productivas y extractivas formales, informales e ilegales en la Región Ucayali, el

Ministerio de Salud a través del Área de Salud ambiental de la Dirección Regional de Salud de Ucayali, desde el año 2003 hasta el año 2015, el Ministerio de Salud y la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Ucayali, han realizado diversas intervenciones de monitoreo con el propósito de determinar el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

Los resultados de los diversos estudios laboratoriales físico químicos realizados, se encuentran en los archivos de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental y han sido poco socializadas a la comunidad en general, del mismo estos resultados en la mayoría de veces, no han sido tomados en cuenta para la implementación de acciones de control, promoción y prevención por contaminación con metales pesados mediante el consumo del agua.

Por estos motivos y considerando la presencia permanente de grupos o poblaciones expuestas que trabajan o viven en el entorno o cercanías a fuentes de contaminación de origen antropogénico o natural es que se propone desarrollar la presente investigación, con el propósito de poner estos resultados al alcance de las autoridades regionales, nacionales, la comunidad científica y la población general, que permita el diseño de estrategias para evitar siga poniendo en riesgo la salud de las personas.

## **1.2. DELIMITACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La presente investigación se realizó en la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Ucayali. Específicamente en el Área de Protección de Recursos Hídricos, lugar donde se encontró la información necesaria para el desarrollo de la presente investigación.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

La investigación se inició con la presentación del plan de investigación en el mes de noviembre de 2017, siguiendo los lineamientos de la Universidad Alas Peruanas. Previa aprobación del plan de investigación, el trabajo de campo se dio inicio la última semana del mes de enero de 2018, culminando en el mes de marzo simultáneamente se realizó el procesamiento de la información, proponiendo la sustentación de la tesis para la segunda quincena del mes de junio de 2018.

### **1.2.3. Delimitación social**

La presente investigación permitió determinar el nivel de contaminación por metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali, zonas donde se encuentran instaladas empresas extractoras de recursos naturales de la Región Ucayali.

También nos permitió determinar si la cantidad de metales encontrados se encuentran dentro de los estándares establecidos en las Normas ECA 2017.

Esta información será socializada con las autoridades del Gobierno Regional de Ucayali, Gobiernos Locales, los responsables del Ministerio de Salud, DIRESA Ucayali, Dirección Regional de energía y Minas y la

Comunidad en general, considerando los efectos negativos sobre la salud originados por cualquiera de los tipos de estos metales pesados que accidentalmente ingresan al organismo de las personas, principalmente mediante el consumo del agua procedente de los ríos.

Los datos obtenidos en la presente investigación servirán para que los funcionarios de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental implementen estrategias de intervención dirigido a las empresas extractoras ubicadas en las cuencas de los ríos Abujao, y Sepahua, a fin de evitar continúen contaminando las aguas de los ríos que son utilizados en forma diaria por las poblaciones ubicadas en estas zonas de riesgo de contaminación por metales pesados en forma permanente.

#### **1.2.4. Delimitación conceptual**

Con respecto a los diferentes conceptos a tener presente en esta propuesta de investigación, varios se encuentran ya definidos como: Los metales pesados, efectos de los metales sobre la salud pública, niveles permisibles en agua según la Normas ECA 2017.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿Cuál es el nivel de metales pesados de las aguas superficiales de la cuenca de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali en el período del 2003 al 2015?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Describir el nivel de metales pesados en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali durante el período del 2003 al 2015.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali durante el período de 2003 al 2015.
- Comparar la concentración por metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali durante el período del 2003 al 2015 con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

## **1.5. HIPÓTESIS GENERAL**

La presente investigación es de carácter descriptivo, por lo que no aplica el planteamiento de una hipótesis.

## **1.6. VARIABLES E INDICADORES**

### **1.6.1. Variable de investigación**

Nivel de contaminación por metales pesados en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

## **1.6.2. Indicadores**

- Año de muestreo.
- Mes de muestreo.
- Cuenca de vigilancia y monitoreo.
- Punto de muestreo.
- Tipos de metales pesados encontrados.
- Límites Máximos Permisibles (LMP)

## **1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Económica**

Se cuenta con los recursos económicos que demandará esta propuesta de investigación y estará a cargo del tesista.

### **1.7.2. Técnica**

Se cuenta con los conceptos que se requiere para la revisión de literatura, las bibliotecas de las universidades ubicadas en la región Ucayali y vía internet a nivel nacional e internacional.

Para el desarrollo del informe final se va a seguir los lineamientos de la Universidad Alas Peruanas. Se tienen los conocimientos del método científico para ser usados en el análisis estadístico de los resultados a encontrar.

### **1.7.3. Operativa**

El estudiante es egresado de la Universidad Alas Peruanas – Filial Pucallpa, cuenta con los conocimientos necesarios para la ejecución del proyecto. Además, se cuenta con el asesor designado por la

Universidad Alas Peruanas filial Pucallpa y con el apoyo de los miembros del jurado calificador.

La Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental brindó su apoyo con un Ingeniero Ambiental, quién nos facilitó información histórica necesaria de acuerdo a los objetivos establecidos en la presente investigación.

Se contará con la asesoría constante del asesor de la tesis, es decir se tiene todo previsto para evitar desfases en la parte operativa del proyecto.

## **1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.8.1. Justificación**

Entre los 106 elementos (conocidos por el hombre) que necesitamos para sostener la vida, 84 son metales, por lo que no es de extrañar que las posibilidades de contaminación metálica en el ambiente sean numerosas. Entre los metales pesados los más importantes en cuestión de salud son el mercurio, el plomo, el cadmio, el níquel y el zinc. Algunos elementos intermedios como el arsénico y el aluminio, los cuales son muy relevantes desde el punto de vista toxicológico, se estudian habitualmente junto a los metales pesados.

Los metales pesados forman parte de los componentes que hay de forma natural en la corteza de la Tierra. Los metales pesados son únicamente aquellos elementos químicos que tienen un peso atómico y peso específico concreto. La peligrosidad de los metales pesados está en que éstos se acumulan en nuestro organismo y no son eliminados. Estos compuestos son muy peligrosos para la salud y afectan a negativamente

a nuestros órganos. Continuamente estamos expuestos a metales pesados, ya sea a través de los alimentos, a través del agua o del aire que respiramos. Los principales órganos que se ven dañados ante la acumulación de metales pesados en el organismo son los riñones, hígado, pulmones y también el sistema nervioso (central y periférico).

Además los metales pesados pueden ser también muy perjudiciales para el medio ambiente en general, para el resto de animales y la gran mayoría de las plantas, de hecho, el incremento de metales pesados debido a la actividad industrial ha desequilibrado y contaminado gravemente muchos ecosistemas naturales. Recordemos que, una vez que estos metales pesados son liberados por la acción del hombre, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, por lo tanto, nuestra exposición a estos tóxicos se ve aumentada.

En general, la exposición a metales pesados a lo largo del tiempo está relacionada con varios tipos de cáncer, problemas en el desarrollo de fetos y niños, artritis, enfermedades cardiovasculares, dolencias renales. El plomo afecta al sistema nervioso, está asociado a anemia, esclerosis, fatiga y a cáncer de riñón, mercurio asociado a alteraciones neurológicas, autismo, depresión, problemas del aparato respiratorio, arsénico está asociado a enfermedades vasculares, bronquitis, cáncer de esófago, de pulmón, laringe y vejiga, produce hepatotoxicidad.

No es exactamente un metal, pero es un contaminante muy peligroso, berilio asociado a cáncer de pulmón y a la irritación de las mucosas y la piel, cromo este metal pesado está asociado a cáncer de pulmón, hepatotoxicidad y nefrotoxicidad, cadmio está asociado a enfisema, cáncer de próstata, bronquitis, infertilidad, enfermedades vasculares, alteraciones neurológicas y toxicidad en riñones, ni que la exposición a largo plazo puede producir dolencias cardiacas, irritación de la piel y daños en el hígado, cobre causa daño en el hígado, en los riñones, está

asociado a anemia y a irritaciones del intestino delgado e intestino grueso, manganeso daña el páncreas, el hígado, el aparato respiratorio, los riñones, el sistema nervioso central y está asociado al Parkinson, estaño asociado a dolor de cabeza, irritación de mucosas y piel, daños en el sistema inmunológico, depresión, trastorno del sueño y daños hepáticos y el zinc que produce dolor de estómago e infección de las mucosas Gwaltney-Brant. (2002).

Por lo tanto estamos ante un peligro silencioso para la población debido a los efectos sobre la salud que producen estos metales que están presentes en el agua de los ríos que comúnmente es utilizada por la población de las diferentes comunidades para su consumo diario.

Los beneficiarios de esta investigación serán la comunidad en general, la comunidad científica, las autoridades Regionales y Nacionales, para brindar atención preventiva a la población ubicada en las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

### **1.8.2. Importancia**

Esta investigación es considerada como trascendental debido a que permitió contar con información de diferentes estudios de agua realizados en el periodo del 2003 al 2015, con la cual se pudo describir el comportamiento histórico sobre el nivel de contaminación por metales pesados de las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

El impacto de esta investigación es que tal vez es la primera de este tipo de investigación que se realiza en la Región Ucayali la que permitirá poner al alcance de la comunidad científica y población general toda la información sobre la presencia de metales pesados en las aguas residuales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

## **1.9. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Se espera la buena colaboración de los profesionales de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental para llegar a alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación. Para asegurar el mismo desde la planificación de la investigación se contó con el apoyo de funcionarios de dicha institución.

El investigador se dedicó a tiempo completo al trabajo de campo para evitar desfases, lo que asegura el éxito de la investigación y de esa manera disminuir los errores en el acopio y recojo de la información.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. A Nivel Internacional

**(Macías, 2015)** Realizo el estudio Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz. México-2015. Con el objetivo de determinar las concentraciones de metales pesados. Se realizaron muestreos de octubre de 2012 a septiembre de 2013. Se tomaron lecturas de parámetros fisicoquímicos y se colectó sedimento y agua en los sitios de muestreo. Posteriormente las muestras se digirieron y se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica. Las concentraciones máximas en el sedimento fueron las siguientes: Cadmio: 14.00 mg/kg, Cromo: 15.20 mg/kg y Plomo: 40.70 mg/kg; y en el agua las concentraciones máximas se reportaron con los valores siguientes: Cadmio:

0.46 mg/L, Cromo: 0.29 mg/L y Plomo: 0.89 mg/L. En cuanto a las concentraciones mínimas en el sedimento fueron las siguientes: Cadmio: 0.03 mg/kg, Cromo: 0.08 mg/kg y Pb: 0.28 mg/kg; en el agua las concentraciones mínimas fueron de: Cadmio: 0.01 mg/L, Cromo: 0.01 mg/L y Plomo: 0.01 mg/L. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en las temporadas climáticas. Los valores encontrados superan los límites máximos permisibles, por lo que se puede argumentar que la zona estuarina del río Tuxpan se encuentra en riesgo de contaminación debido a que los metales pesados en bajas concentraciones son tóxicos.

**(Correa M, 2015).** En su estudio Análisis del contenido de metales en aguas, sedimentos y peces en la cuenca del Río Santiago, Provincia de Esmeraldas, Ecuador. Tuvo como objetivo principal realizar análisis para determinar el contenido de metales (aluminio, arsénico, cobre, cromo, cinc, hierro, manganeso, mercurio, níquel y plomo) en aguas, sedimentos y peces en la Cuenca del río Santiago, Provincia de Esmeraldas, durante la estación seca. Los resultados muestran que los valores de aluminio, cobre, hierro, manganeso y plomo superan los Límites Máximos Permisibles descritos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) en su apartado para agua dulce, en todas las estaciones de muestreo. Especialmente el aluminio y hierro que alcanzaron, en la Estación de Concepción, niveles de 10 mg/L y 11 mg/L comparados con los Límites Permisibles de 0,1 y 0,3 mg/L, respectivamente. Solamente los valores de cromo, níquel y cinc superan la Norma en la Estación de Las Antonias, donde se obtuvieron unos valores de 0,055 mg/L para el cromo, 0,031 mg/L para el níquel y 0,051 mg/L para el cinc comparados con 0,05; 0,025, y 0,03 mg/L establecidos como Límites Máximos Permisibles respectivamente. Los análisis estadísticos realizados a las muestras encontraron niveles significativos a  $P < 0,05$  en los metales aluminio, cobre, cromo, hierro, manganeso, plomo y cinc entre las distintas estaciones. Los valores de arsénico y mercurio estuvieron por debajo del rango previsto en la Norma TULSMA.

### 2.1.2. A Nivel Nacional

(Chata Quenta, 2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del rio Coata 2015. El objetivo fue determinar la relación de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche de la cuenca del rio Coata 2015. El tipo de estudio fue de tipo trasversal, el método que se aplicó fue EPA por espectrofotometría de absorción atómica-llama, se analizó seis muestras de agua y seis muestras de leche a través de la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, para la prueba de hipótesis se aplicó correlación de rangos o de Spearman.

Las concentraciones de mercurio en agua fueron inferiores a 0.00020mg/l, la concentración promedio de arsénico fue 0.048mg/l, en el caso del plomo la concentración promedio fue de 0.014mg/l y en el análisis de cadmio los resultados fueron inferiores a 0.00050mg/l ninguno de los metales pesados analizadas en muestras de agua superan los estándares nacionales de calidad ambiental para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo establecidos por el ministerio del ambiente Peruano.

En el análisis de la leche los valores promedio de mercurio fue de 0.0028mg/l el cual no supera el límite máximo permisible (0.005mg/kg fijado por la norma técnica Ecuatoriana) mientras que en el caso del arsénico se obtuvo un promedio de 0.43mg/l supera el límite máximo permisible (0.015mg/kg fijado por la norma técnica Ecuatoriana) y Plomo con concentraciones promedio de 0.21mg/l supera el límite máximo permisible (0.020mg/kg, fijado por codex alimentarius y la Unión Europea) y cadmio con promedio de 0.0037 mg/l el cual no supera el límite máximo permisible (0.010mg/kg fijado por la norma técnica de Rumana).

Para la relación de metales pesados mercurio, plomo y cadmio en agua y leche se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna y para la relación de arsénico en agua y leche se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. (Chata Quenta, 2015)

(Juarez Soto, 2012) En su estudio; Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana incluye un análisis de la contaminación por metales pesados en la cuenca del río Rímac para determinar los riesgos ambientales y el impacto en el suelo, el agua y las verduras en la localidad de Carapongo. Los objetivos del presente estudio son en primer lugar, el estudio de los datos históricos (espacio-temporal) en la calidad de las aguas de la cuenca del río Rímac. Los objetivos específicos son:

- a)** Exponer y analizar las fuentes de contaminación en la cuenca del río Rímac, en el presente y en el pasado.
- b)** Para determinar la distribución espacial de los metales pesados en toda la cuenca del río Rímac utilizando datos secundarios, y
- c)** Para determinar si las regulaciones ambientales municipales y nacionales han influido en la reducción de la contaminación en el río Rímac.

El segundo objetivo principal es evaluar los riesgos ambientales existentes que afectan a la tierra agrícola, el agua y las verduras en la localidad de Carapongo. Los objetivos específicos son:

- a)** Para entender la percepción agricultores en relación con la calidad del agua utilizada en el riego de hortalizas
- b)** para caracterizar los niveles reales de metales pesados en el agua en las principales canales de irrigación de Carapongo para determinar los riesgos ambientales debido a la absorción de metales pesados en el

suelo y los riesgos para la salud humana debido a la concentración de metales pesados en las verduras y

c) Proponer recomendaciones generales para mejorar la calidad de los productos de la agricultura.

Este estudio muestra que la información histórica sobre la calidad del agua implementado en un sistema de información geográfica (GIS) es una herramienta útil para evaluar las tendencias de contaminación, para evaluar las zonas de riesgo de un contaminante determinado, para mapear las áreas adecuadas para algún tipo de explotación y de entender espacialmente al problema del agua- contaminación en toda la cuenca. El cadmio y el contenido Cromium en los últimos ocho años en la Cuenca del río Rímac han sido inferiores a los límites máximos permisibles (LMP) (aceptables para el riego de verduras).

Sin embargo, tres de ocho años para el arsénico y siete de ocho años de plomo han afectado a la parte baja de la cuenca con metales pesados, lo cual no es aceptable para el riego de hortalizas.

El arsénico y el plomo se aportan en gran medida por las explotaciones mineras en la parte alta de la cuenca. Hay signos significativos que contenido de arsénico ha mejorado sus niveles de calidad en los últimos dos años, sin embargo, el contenido de plomo son siempre por encima del MPL y no hay una reducción significativa de plomo en la cuenca del río Rímac. La valoración de cómo los agricultores perciben el riesgo de contaminación y la exposición de los contaminantes es muy complejo.

Estos resultados muestran que la percepción de los agricultores sobre la calidad del agua se atribuye principalmente a factores que se observan fácilmente en los canales de riego como cloacas domésticas y residuos sólidos de urbanizaciones (73%). Si la exposición no es visible, la percepción del riesgo es menos evidente para los agricultores (11%). Por esta razón, las estimaciones de riesgo de contaminantes en el medio ambiente y la evaluación de los riesgos para la salud son parte de la

evaluación, y la percepción de los agricultores a estos riesgos es la otra parte que es necesaria para mostrar y sensibilizar.

Los niveles de concentración de Pb disponible en los suelos, y Pb absorbido por las plantas no representan ningún riesgo a pesar de que el nivel Pb ha sido muy alta en los últimos 8 años en el río Rímac. Los niveles de concentración de Cromo disponibles en los suelos y es absorbido por las plantas no representan ningún riesgo.

Dadas las condiciones prevalecientes de niveles significativos de disposición Cd y As en suelos y absorbida por los vegetales, se ha llegado a la conclusión de que la contaminación del suelo por el agua contaminada representa un riesgo importante en la verdura de hoja de Como. El Cd disponible en el suelo se debió principalmente a la tierra de los padres y no de los canales de riego. Cd puede ser fácilmente bio-acumula hasta niveles peligrosos en el huacatay. A pesar de que los niveles de As y Cd son más altos en huacatay, se estima que el riesgo de la salud es pequeño porque este vegetal se utiliza en pequeñas cantidades Como condimento. Si se confirma que As y Cd representan ningún peligro para la salud, la ejecución de las directrices generales que se evite la producción de huacatay en áreas contaminadas podría ser una opción práctica.

Hay muchas tecnologías para mejorar la calidad de los suelos contaminados con metales pesados. Algunas técnicas como la estabilización química de los metales pesados, la supresión de la tierra contaminada, la adición de suelo limpio a la superficie, y la extracción de metales pesados de los suelos por bio-acumuladores plantas pueden ser método eficaz para reducir As y Cd bio-disponible para verduras.

### **2.1.3. A nivel Local**

A nivel local no se encontró antecedentes de investigaciones desarrolladas con relación al problema de la presente investigación.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Generalidades sobre contaminación del agua**

El agua es probablemente el recurso natural más importante del planeta, ya que sin ella no podría existir la vida y la industria no funcionaría. El agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones. Se usa en el consumo humano, agricultura, ganadería, minería, industria y generación de energía, sin embargo se maneja de una manera inadecuada, lo cual ocasiona una creciente contaminación acuática, siendo los ríos, lagos y mares los receptores finales de las evacuaciones residuales domésticas, efluentes de la industria y de las actividades minero- metalúrgicas. (Micaela, Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la Cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México, 2011)

El medio acuático es un sistema ecológico en equilibrio que representa cierto número de propiedades físicas químicas y biológicas estrechamente relacionadas, constituyendo la base de toda la vida en este medio.

El hombre para satisfacer sus necesidades, su bienestar comienza a cambiar su medio ambiente, estos cambios se remontan a 10 000 a 12 000 años atrás, cuando se descubre la agricultura. Luego viene la revolución industrial hace cerca de 280 años atrás, con estos cambios se puede decir que se inician los efectos mayores al medio ambiente, surgiendo una serie de necesidades básicas que se incrementan y en las cuales la minería juega un papel importante. (Tebutt T, 1993)

En las tres últimas décadas diferentes organizaciones en todo el mundo han mostrado preocupación por la preservación del medio ambiente acuático (dentro de ellos los ríos), y el aumento de contaminación, dentro de ellos están la OEA, la ONU, la FAO, el PNUMA, UNESCO, quienes financian o desarrollan programas de capacitación y de investigación en el impacto ecológico causado por la contaminación y desastres naturales.

La incompleta investigación en contaminación en nuestro país se debe posiblemente a que es reciente la preocupación sobre el ambiente, de allí que el Gobierno peruano, el 07 de setiembre de 1990 promulgó el Código del Medio Ambiente y los recursos Naturales, mediante decreto ley N° 613, en cuyo artículo 25 promueve las investigaciones científicas que se orienten en forma prioritaria a la realización y actualización de los inventarios de recursos naturales y a la identificación de indicadores de calidad ambiental, así como establecer criterios para el manejo eficiente de esos recursos

Posteriormente se establecieron los lineamientos para la elaboración de Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y de evaluación del impacto ambiental (EIA), así mismo el 22 de diciembre de 1994 se crea el Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAM), según ley 26410 el cual

se encuentra elaborando el Plan Nacional de Acción Ambiental y la ley 28611 Ley General del Ambiente.

Indudablemente que al darse estos dispositivos de ley que norman el uso del ambiente, se promueve la investigación, el desarrollo y preservación de los recursos naturales y dentro de ellos las aguas de los ríos, el desarrollo de los PAMAS y los EIAs, representan uno de los pasos positivos que se ha dado actualmente y que nos coloca al nivel de los países desarrollados en lo que se refiere a la protección de los recursos de nuestros ríos, aire que respiramos, mares y del agua que bebemos.

## **2.2.2. ORIGEN SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana. (Cartagena Diaz, 1999)

### **2.2.2.1. Origen natural**

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo. Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual. La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Murray, 1996)

### **2.2.2.2. Origen antropogénico**

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado. (Adriano, 1986)

### **2.2.2.3. Origen agropecuario**

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono, el empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos para residuos no peligrosos o abandonados en los campos (Fundación MAPFRE, 1994). Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados. (Wittmann, 1981)

### **2.2.2.4. Origen industrial**

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado. Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o

en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química. (Vink, 1999)

#### **2.2.2.5. Origen doméstico y urbano**

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmosfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales. (Wittmann, 1981)

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades. . (Wittmann, 1981)

### 2.2.3. METALES PESADOS

El término “metal y metaloides”, 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 “metaloides o metal pesado” tienen una gravedad específica mayor que cinco, existen diversas excepciones a esta regla. (Geesey, 1984)

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. (Geesey, 1984)

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: Arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo. (Reynaga., 1900)

Por lo general se acepta que son aquellos elementos químicos que presentan ciertas propiedades comunes: conductividad eléctrica y térmica altas, maleabilidad, ductibilidad y brillo (14), cuya densidad es mayor a 5 g/ml (Cervantes y Moreno, 1999), por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Algunos metales pesados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn).

Los metales pesados se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas. (Reynaga., 1900)

#### **2.2.4. METALES PESADOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD**

(Nava-Ruíz, 2011) En su artículo sobre los efectos neurotóxicos de los metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio) refieren que a pesar de los esfuerzos y avances científicos la exposición de los efectos neurotóxicos continúa.

Estos constituyen un riesgo para la Salud Pública principalmente en países en vías de desarrollo. El plomo, cadmio y talio son metales que se encuentran en el aire y agua como contaminantes ambientales y se asocian con múltiples efectos sobre la salud; siendo varios los órganos y sistemas que se ven afectados como el: Riñón, pulmón, hígado, sistema gastrointestinal y hematopoyético, pero principalmente del sistema nervioso central periférico. La severidad del daño de estos metales depende del tiempo, nivel de exposición y susceptibilidad de la persona y además de la ruta por la cual el metal sea absorbido.

##### **2.2.4.1. Arsénico**

(Flanagan,, johnston, & Zheng, 2012) Refieren que el arsénico está presente de forma natural en niveles altos en las aguas subterráneas de varios países. El arsénico es muy tóxico en su forma inorgánica. Su mayor amenaza para la salud pública reside en la utilización de agua contaminada para beber, preparar alimentos y regar cultivos alimentarios. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas.

También se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. La intervención más importante en las comunidades afectadas consiste en prevenir que se prolongue la exposición al arsénico implantando un sistema seguro de abastecimiento de agua potable.

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico. La exposición a altos niveles de arsénico inorgánico puede deberse a diversas causas, como el consumo de agua contaminada o su uso para la preparación de comidas, para el riego de cultivos alimentarios y para procesos industriales, así como al consumo de tabaco y de alimentos contaminados.

La exposición prolongada al arsénico inorgánico, principalmente a través del consumo de agua contaminada o comida preparada con esta y cultivos alimentarios regados con agua rica en arsénico puede causar intoxicación crónica. Los efectos más característicos son la aparición de lesiones cutáneas y cáncer de piel.

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas. El arsénico inorgánico está naturalmente presente en altos niveles en las aguas subterráneas de diversos países, entre ellos la Argentina, Bangladesh, Chile, China, la India, México y los Estados Unidos de América. Las principales fuentes de exposición son: el agua destinada a consumo humano, los cultivos regados con agua contaminada y los alimentos preparados con agua contaminada.

Los pescados, mariscos, carnes, aves de corral, productos lácteos y cereales también pueden ser fuentes alimentarias de arsénico, aunque la exposición a través de estos alimentos suele ser muy inferior a la exposición a través de aguas subterráneas contaminadas. En el marisco,

el arsénico está presente principalmente en su forma orgánica menos tóxica.

El arsénico se utiliza industrialmente como agente de aleación, y también para el procesamiento de vidrio, pigmentos, textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de la madera y municiones. El arsénico se emplea asimismo en los procesos de curtido de pieles y, en grado más limitado, en la fabricación de plaguicidas, aditivos para piensos y productos farmacéuticos.

Las personas que fuman tabaco también pueden estar expuestas al arsénico inorgánico que contiene el tabaco natural, ya que las plantas de tabaco absorben esencialmente el arsénico presente de forma natural en el suelo. Por otro lado, el riesgo de exposición al arsénico era mucho mayor hace unos años, cuando había costumbre de tratarlas con insecticidas a base de arseniato de plomo.

El arsénico existe tanto en forma orgánica como inorgánica. Los compuestos de arsénico inorgánico (como los que se encuentran en el agua) son extremadamente tóxicos, en tanto que los compuestos de arsénico orgánico (como los que se encuentran en pescados y mariscos) son menos perjudiciales para la salud. Los síntomas inmediatos de intoxicación aguda por arsénico incluyen vómitos, dolor abdominal y diarrea. Seguidamente, aparecen otros efectos, como entumecimiento u hormigueo en las manos y los pies o calambres musculares y, en casos extremos, la muerte.

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos

efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

Entre los demás efectos perjudiciales para la salud que se pueden asociar a la ingesta prolongada de arsénico destacan los que siguen: problemas relacionados con el desarrollo, neurotoxicidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares. En China (Provincia de Taiwán), la exposición al arsénico se ha vinculado a la «enfermedad del pie negro», una afección grave de los vasos sanguíneos que causa gangrena. Sin embargo, esta enfermedad no se ha observado en otras partes del mundo; es posible que la malnutrición contribuya a su desarrollo. La contaminación por arsénico de las aguas subterráneas es un problema muy extendido; varias regiones presentan niveles importantes de consumo de agua contaminada.

En Bangladesh el arsénico ha cobrado gran protagonismo desde que se descubrió, en los años noventa, que este elemento está ampliamente presente en el agua de los pozos. Desde entonces, se han logrado notables progresos, y el número de personas expuestas al arsénico en niveles superiores a los permitidos por las normas nacionales de calidad del agua potable ha disminuido en alrededor de un 40%. Pese a estos esfuerzos, se estima que el número de personas con riesgo de exposición a concentraciones de arsénico superiores a la norma nacional de 50 µg/litro y al valor guía de la OMS de 10 ug/litro ronda en Bangladesh los 20 millones y los 45 millones de personas, respectivamente.

Los síntomas y signos asociados a elevados niveles de exposición prolongada al arsénico inorgánico difieren entre las personas, los grupos de población y las zonas geográficas. No existe pues una definición universal de las enfermedades causadas por el arsénico, lo que complica la evaluación de su carga para la salud. De modo análogo, no existe tampoco un método para distinguir los casos de cáncer causados por arsénico de los inducidos por otros factores, por lo que se carece de una estimación fiable de la magnitud del problema a nivel mundial.

En 2010, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios reevaluó los efectos del arsénico en la salud humana, a la luz de los nuevos datos disponibles. Una de sus conclusiones fue que en el caso de algunas regiones del mundo donde las concentraciones de arsénico inorgánico en el agua de bebida superan los 50-100 µg/litro hay cierta evidencia de efectos adversos. En otras regiones, donde las concentraciones de arsénico en el agua son elevadas aunque no tanto (10-50 µg/litro) el Comité concluyó que, si bien existe el riesgo de efectos adversos, estos presentarían niveles de incidencia bajos, que serían difíciles de detectar dentro de un estudio epidemiológico.

La intervención más importante en las comunidades afectadas consiste en prevenir que se prolongue la exposición al arsénico implantando un sistema seguro de abastecimiento de agua potable destinada al consumo como agua de bebida, a la preparación de alimentos y al riego de los cultivos alimentarios. Existen diversas opciones para reducir los niveles de arsénico en el agua potable.

➤ Sustituir las fuentes de abastecimiento con elevados niveles de arsénico, por ejemplo aguas subterráneas, por fuentes de abastecimiento con bajos niveles de arsénico y microbiológicamente seguras, por ejemplo agua de lluvia o aguas superficiales debidamente tratadas. Una opción es reservar el agua con bajos niveles de arsénico para beber, cocinar y regar

y utilizar el agua con mayor concentración para otros fines, por ejemplo para bañarse o lavar la ropa.

- Discriminar entre las fuentes de abastecimiento con altos niveles de arsénico y las fuentes con bajos niveles de arsénico. Por ejemplo, analizar los niveles de arsénico en el agua y pintar los pozos canalizados o las bombas de mano de diferentes colores. Esto puede ser una solución eficaz y económica para reducir rápidamente los niveles de exposición, siempre que vaya acompañada de la oportuna campaña educativa.
- Mezclar agua con bajos niveles de arsénico con agua de concentración más elevada a fin de conseguir más cantidad de agua con un nivel de concentración aceptable.
- Instalar sistemas de eliminación del arsénico – ya sea de manera centralizada o a nivel doméstico – y asegurar que el arsénico eliminado se someta a un tratamiento de residuos adecuado. Entre las tecnologías que permiten eliminar el arsénico destacan la oxidación, la coagulación-precipitación, la absorción, el intercambio de iones y diversas técnicas de membranas. Existe un número cada vez mayor de opciones eficaces y económicas para eliminar el arsénico en las fuentes de abastecimiento de agua a pequeña escala o de tipo doméstico.

Se precisan asimismo intervenciones a largo plazo para reducir la exposición ocupacional asociada a diversos procesos industriales.

La educación y la participación de la comunidad son factores fundamentales para asegurar que las intervenciones den buen resultado. Es necesario que los miembros de cada comunidad comprendan los riesgos asociados a la exposición a altos niveles de arsénico y las fuentes conexas, como la ingesta de arsénico a través de cultivos alimentarios (por ejemplo, el arroz) regados con agua contaminada o a través de alimentos cocinados con agua contaminada.

También es primordial someter a las poblaciones de alto riesgo a un seguimiento continuo para detectar los signos tempranos de la intoxicación por arsénico, que suelen presentarse en forma de problemas dermatológicos. Nava-Ruíz, C. M.-A. (2011).

#### **2.2.4.2. Cadmio**

El cadmio es un elemento que está presente en suelos y rocas en forma natural, pero que también puede ser incorporado al ambiente a través de fertilizantes, plásticos, baterías, pilas, compuestos asociados con el zinc, pinturas aplicación de desechos al suelo y otros.

Es uno de los principales contaminantes de suelos agrícolas de todo el mundo debido a su alta movilidad. El cadmio no es un elemento esencial para los animales y el hombre, pero para ambos puede tener efectos tóxicos agudos de corto plazo y crónicos de mediano y largo plazo. Los últimos por su capacidad de acumularse en órganos como el riñón y el hígado. Los efectos agudos pueden producir daño severo en varios órganos, entre ellos: edema pulmonar, problemas respiratorios, bronconeumonía. La acumulación de cadmio en el cuerpo parece incrementar con la edad, disminuyendo después de los 50 años. Se ha estimado que la vida media del cadmio en el riñón humano va de los 18 a 33 años. Otros efectos crónicos se relacionan con hipertensión, metabolismo de los carbohidratos, carcinogénesis, teratogénesis y daño testicular. Nava-Ruíz, C. M.-A. (2011).

La adsorción del cadmio se debe a su unión con proteínas de bajo peso molecular, las thioninas, para formar metalothionina que se acumula en la corteza del riñón.

(Chaney, 1983) Estimó que la concentración crítica de cadmio que produce daño de la corteza renal es de  $200 \text{ ug g}^{-1}$  (peso húmedo). La

máxima dosis diaria referencial en la dieta establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para proteger la exposición humana a cadmio es de 70 ug g<sup>-1</sup>.

A pesar de que no existe evidencia que la exposición humana a cadmio por disposición de biosólidos aplicados al suelo haya producido efectos en la salud, hay evidencia de efectos adversos originados por el consumo de alimentos contaminados con cadmio. El caso más conocido ocurrió en Japón en 1995, en donde indujo la enfermedad denominada itai-itai, que produce graves problemas a los huesos. (Yamangata, & Shigematsu, 1970)

En 1968 el Ministerio de Salud de Japón señaló que la enfermedad había sido causada por el riego de campos de arroz con agua contaminada por descargas mineras que contenían cadmio. El Zn, Fe, Cu, Ca, ácido ascórbico y las proteínas pueden interactuar con el cadmio. (19) Una dieta baja en Fe contribuye al aumento de la retención de cadmio; el aumento de Zn en la dieta induce la biosíntesis de metalothioninas, que se unen con el cadmio y el Zinc; deficiencias de calcio también aumentan la adsorción de cadmio. (Chaney, 1983)

De ahí que el efecto potencial del cadmio sobre los cultivos no solamente depende de la concentración en ellos, sino que además de la biodisponibilidad y condiciones de la nutrición humana.

### **2.2.4.3. Plomo**

La Organización Mundial de la Salud citado por (Reynaga., 1900) señala que el plomo es una sustancia tóxica que se va acumulando en el organismo afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad. Se estima que en los niños la exposición al plomo causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual.

La exposición al plomo se cobra cada año un total estimado de 143 000 vidas, registrándose las tasas más altas de mortalidad en las regiones en desarrollo. Alrededor de la mitad de la carga de morbilidad asociada a la intoxicación por plomo se concentra en la Región de Asia Sudoriental de la OMS, en tanto que la Región del Pacífico Occidental y la Región del Mediterráneo Oriental acaparan una quinta parte cada una.

El plomo se distribuye por el organismo hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. Para evaluar el grado de exposición humana, se suele medir la concentración de plomo en sangre. No existe un nivel de exposición al plomo que pueda considerarse seguro. La intoxicación por plomo es totalmente prevenible.

El plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública.

Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo. Más de tres cuartos partes del consumo mundial de plomo corresponden a la fabricación de baterías de plomo-ácido para vehículos de motor. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos, como

pigmentos, pinturas, material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal. En la actualidad, buena parte del plomo comercializado en los mercados mundiales se obtiene por medio del reciclaje.

Los niños de corta edad son especialmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo, que puede tener consecuencias graves y permanentes en su salud, afectando en particular al desarrollo del cerebro y del sistema nervioso. El plomo también causa daños duraderos en los adultos, por ejemplo aumentando el riesgo de hipertensión arterial y de lesiones renales. En las embarazadas, la exposición a concentraciones elevadas de plomo puede ser causa de aborto natural, muerte fetal, parto prematuro y bajo peso al nacer, y provocar malformaciones leves en el feto. Las personas pueden verse expuestas al plomo en su puesto de trabajo o en su entorno, principalmente a través de:

- la inhalación de partículas de plomo generadas por la combustión de materiales que contienen este metal (por ejemplo, durante actividades de fundición, reciclaje en condiciones no seguras o decapado de pintura con plomo, o al utilizar gasolina con plomo);
- la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados (por ejemplo, agua canalizada a través de tuberías de plomo o alimentos envasados en recipientes con esmalte de plomo o soldados con este metal).

Otra posible fuente de exposición al plomo es el uso de determinados productos cosméticos y medicamentos tradicionales.

Los niños de corta edad son particularmente vulnerables porque, según la fuente de contaminación de que se trate, llegan a absorber una cantidad de plomo entre 4 y 5 veces mayor que los adultos. Por si esto fuera poco, su curiosidad innata y la costumbre, propia de su edad, de llevarse cosas

a la boca, los hace más propensos a chupar y tragar objetos que contienen plomo o que están recubiertos de este metal (por ejemplo, tierra o polvos contaminados o escamas de pintura con plomo). Esta vía de exposición es aún mayor en los niños con pica (ansia persistente y compulsiva de ingerir sustancias no comestibles), que pueden arrancar, y luego tragar, por ejemplo, escamas de pintura de las paredes, los marcos de las puertas o los muebles. En el Senegal y Nigeria, la exposición a tierra y polvo contaminados por plomo debido al reciclaje de baterías y a actividades mineras ha provocado intoxicaciones masivas por plomo en niños de corta edad, que se han cobrado ya numerosas vidas.

Una vez dentro del cuerpo, el plomo se distribuye hasta alcanzar el cerebro, el hígado, los riñones y los huesos, y se deposita en dientes y huesos, donde se va acumulando con el paso del tiempo. El plomo almacenado en los huesos puede volver a circular por la sangre durante el embarazo, con el consiguiente riesgo para el feto. Los niños con desnutrición son más vulnerables al plomo porque sus organismos tienden a absorber mayores cantidades de este metal en caso de carencia de otros nutrientes, como el calcio. Los grupos expuestos a mayor riesgo son los niños de corta edad (incluidos los fetos en desarrollo) y los pobres.

El plomo tiene graves consecuencias en la salud de los niños. Si el grado de exposición es elevado, ataca al cerebro y al sistema nervioso central, pudiendo provocar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que sobreviven a una intoxicación grave pueden padecer diversas secuelas, como retraso mental o trastornos del comportamiento. Se ha comprobado además que en niveles de exposición más débiles sin síntomas evidentes, antes considerados exentos de riesgo, el plomo puede provocar alteraciones muy diversas en varios sistemas del organismo humano. En los niños afecta, en particular, al desarrollo del cerebro, lo que a su vez entraña una reducción del cociente intelectual, cambios de comportamiento –por ejemplo, disminución de la capacidad de concentración y aumento de las conductas antisociales– y un menor

rendimiento escolar. La exposición al plomo también puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles.

No existe un nivel de concentración de plomo en sangre que pueda considerarse exento de riesgo. Sí se ha confirmado, en cambio, que cuanto mayor es el nivel de exposición a este metal, más aumentan la diversidad y la gravedad de los síntomas y efectos a él asociados. Incluso las concentraciones en sangre que no superan los 5 µg/dl –nivel hasta hace poco considerado seguro– pueden entrañar una disminución de la inteligencia del niño, así como problemas de comportamiento y dificultades de aprendizaje.

Un hecho alentador es que la supresión paulatina de la gasolina con plomo en la mayoría de los países ha contribuido a reducir considerablemente su concentración sanguínea en la población. Hoy por hoy, su utilización solo sigue estando permitida en seis países.

La OMS ha incluido el plomo dentro de una lista de diez productos químicos causantes de graves problemas de salud pública que exigen la intervención de los Estados Miembros para proteger la salud de los trabajadores, los niños y las mujeres en edad fecunda.

La Organización está elaborando una serie de directrices para la prevención y el tratamiento de la intoxicación por plomo; su finalidad es ofrecer a los responsables de la formulación de políticas, las autoridades de salud pública y los profesionales sanitarios una orientación de base científica sobre las medidas que se pueden adoptar para proteger la salud de la población, tanto infantil como adulta, frente a la exposición al plomo.

En vista de que la pintura con plomo sigue constituyendo una importante fuente de exposición en numerosos países, la OMS ha unido fuerzas con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente con el fin de crear la Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en la Pintura. Esta iniciativa de colaboración tiene por finalidad concentrar y catalizar los esfuerzos desplegados para alcanzar los objetivos internacionales de prevenir la exposición de los niños al plomo a través de pinturas que contienen ese metal y minimizar el riesgo de exposición ocupacional a las mismas. El objetivo general es promover la eliminación gradual de la fabricación y venta de pinturas que contienen plomo y, con el tiempo, eliminar los riesgos a ellas asociados.

La Alianza Mundial para Eliminar el Uso del Plomo en la Pintura representa un valioso instrumento para avanzar hacia el cumplimiento de lo establecido en el párrafo 57 del Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible y en la resolución II/4B del Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel Internacional, cuyo cometido es la eliminación gradual del uso del plomo en la pintura

#### 2.2.4.4. Talio

El talio es uno de los metales más tóxicos, tiene un peso molecular de 204, está clasificado en el grupo IIIA de la tabla periódica y la exposición medioambiental ocurre en forma de emisiones de fábricas de cemento, plantas carboneras y esmaltadoras. (Fox, 1986)

El talio es usado para catalizar ciertas aleaciones de metales, en la manufactura de componentes electrónicos, colorantes, lentes para la óptica, joyería y superconductores; su uso como rodenticida y pesticida ha sido restringido en muchos países como Estados Unidos de Norteamérica, pero aún es utilizado en países en vías de desarrollo. (OMS, 2015) Históricamente el talio fue usado como tratamiento en enfermedades como la sífilis y tuberculosis; pero en la actualidad se utilizan radios isótopos del talio en estudios de imágenes del miocardio. (ATSDR, 1999) El talio es absorbido a través de la piel y tracto gastrointestinal, después de la exposición inicial grandes cantidades son excretadas por la orina durante las 24 horas, después de este periodo la excreción se vuelve más lenta y las heces se convierten en otro medio de excreción; la vida media del talio en el organismo ha sido reportada en un rango de 1 a 30 días y puede ser dosis dependiente. (Galván-Arzate S, 1998) Existen numerosos reportes en donde se observa que intoxicaciones agudas con talio producen parálisis, psicosis y alopecia.

Los mecanismos bioquímicos precisos que delinean las manifestaciones por talioobtoxicosis no ha sido completamente elucidados; sin embargo, se sabe que los efectos tóxicos del talio son debidos principalmente a la substitución del talio por el potasio en procesos dependientes de potasio,

en la bomba  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasa se produce una inhibición en la actividad de esta. (Moore,, House, & Dixon, 1993)

La forma trivalente pero no la monovalente del talio presenta alta afinidad

para ligandos que contienen grupos sulfhidrilos, el talio interfiere con la respiración celular por unión a los grupos sulfhidrilos de las enzimas mitocondriales tales como: piruvato deshidrogenasa y succinato deshidrogenasa siendo en parte responsable del incremento en la permeabilidad de la mitocondria llevando a la célula a presentar edema y vacuolización mitocondrial con subsecuente desacoplamiento de la fosforilación oxidativa; asimismo la unión del talio con enzimas que contienen el grupo sulfhídrido en moléculas ricas en cisteína-keratina incrementa su solubilidad y disminuyen su resistencia manifestándose clínicamente en anormalidades de piel, pelo (alopecia) y uñas. (Moore,, House, & Dixon, 1993). El talio también es capaz de alterar los niveles de calcio intracelular por mecanismos como desacoplamiento de fosforilación oxidativa afectando la liberación de neurotransmisores en el sistema nervioso.

Por otro lado, se ha discutido el papel del talio en la generación de EROs en diferentes tejidos expuestos al metal. (Repetto, Del Peso, & Repetto, 1998).

Como ya se mencionó el talio desacopla la fosforilación oxidativa induciendo la pérdida del potencial de membrana de la mitocondria, liberando citocromo C, activando caspazas y originando apoptosis. El talio (como otros metales) incrementa la LPO en regiones cerebrales, disminuye los niveles de glutatión y la actividad de la SOD, glutatión en ratas expuestas a bajas dosis de talio. (Gwaltney-Brant, 2002).

Asimismo, induce alteraciones en los aminoácidos (glutamato, aspartato) y neurotransmisores (glutamato, dopamina, serotonina) en el cerebro de ratas expuestas de manera crónica o subaguda; las concentraciones de norepinefrina y 5-hidroxitriptamina también han sido encontrados disminuidos, esta interacción del talio con el sistema central de neurotransmisores puede en parte explicar el origen de las manifestaciones extrapiramidales.

El talio produce una de las más complejas y serias intoxicaciones conocidas en humanos involucrando a diferentes órganos y tejidos, la imagen clínica de una intoxicación por talio depende del tiempo, el nivel de exposición, rango de absorción, en particular la susceptibilidad individual. Una exposición aguda de talio puede afectar al sistema nervioso central y periférico, mientras que una exposición crónica resulta en la afectación de cerebro, médula espinal y nervios periféricos. . (ATSDR, 1999)

Las principales manifestaciones clínicas de una intoxicación aguda por talio consisten en características dermatológicas como la alopecia, hiperqueratosis y presencia las líneas de Mee en la uñas Los síntomas neurológicos incluyen disestesia, dolor neuropático, debilitamiento de músculo, parálisis de nervios craneales, temblor, convulsión coma y muerte (Galvan-Arzate, Martinez, Medina, Santamaria, & Ríos , 2000)

El término encefalopatía implica una variedad de condiciones, tales como pérdida del manejo de la persona y daño en la memoria disminuyendo la capacidad intelectual con irreversible demencia alucinaciones. La neuropatía periférica es típicamente causada por intoxicación con talio incluyendo fibras nerviosas motoras afectadas. Estudios neuropatológicos han mostrado edema y engrosamiento vascular de los hemisferios cerebrales, cambios cromatolíticos en la corteza motora, *globuspalidus* sustancia negra y núcleos de tallo cerebral. (Galvan-Arzate, Martinez, Medina, Santamaria, & Ríos, 2000)

#### **2.2.4.5. Mercurio**

La Organización Mundial de la Salud (OMS, El mercurio y la salud, 2017) menciona que el mercurio es un elemento que está presente de forma natural en el aire, el agua y los suelos. La exposición al mercurio (incluso a pequeñas cantidades) puede causar graves problemas de salud y es peligrosa para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida. El mercurio puede ser tóxico para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.

Para la OMS, el mercurio es uno de los diez productos o grupos de productos químicos que plantean especiales problemas de salud pública. La principal vía de exposición humana es el consumo de pescado y marisco contaminados con metilmercurio, compuesto orgánico presente en esos alimentos.

El mercurio existe en varias formas: elemental (o metálico) e inorgánico (al que la gente se puede ver expuesta en ciertos trabajos); u orgánico (como el metilmercurio, que penetra en el cuerpo humano por vía alimentaria). Estas formas de mercurio difieren por su grado de toxicidad y sus efectos sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.

El mercurio, presente de forma natural en la corteza terrestre, puede provenir de la actividad volcánica, la erosión de las rocas o la actividad humana. Esta última es la principal causa de las emisiones de mercurio, procedentes sobre todo de la combustión de carbón en centrales eléctricas, calefacciones y cocinas, de procesos industriales, de la incineración de residuos y de la extracción minera de mercurio, oro y otros metales.

Una vez liberado el mercurio al medio, ciertas bacterias pueden transformarlo en metilmercurio. Este se acumula entonces en peces y mariscos (se entiende por bioacumulación una concentración de la sustancia más elevada en el organismo que en su entorno). El metilmercurio pasa también por un proceso de bioamplificación. Los grandes peces depredadores, por ejemplo, tienen más probabilidades de presentar niveles elevados de mercurio por haber devorado a muchos peces pequeños que a su vez lo habrán ingerido al alimentarse de plancton.

Todas las personas están expuestas a cierto nivel de mercurio. En la mayoría de los casos se trata de niveles bajos, debidos casi siempre a una exposición crónica (por contacto prolongado, ya sea intermitente o continuo). Pero a veces la gente se ve expuesta a niveles elevados de mercurio, como ocurre en caso de exposición aguda (concentrada en un breve lapso de tiempo, a menudo menos de un día) debida por ejemplo a un accidente industrial.

Entre los factores que determinan eventuales efectos sobre la salud, así como su gravedad, están los siguientes:

- la forma de mercurio de que se trate
- la dosis
- la edad o el estadio de desarrollo de la persona expuesta (la etapa fetal es la más vulnerable)
- la duración de la exposición
- La vía de exposición (inhalación, ingestión o contacto cutáneo).

(OMS, El mercurio y la salud, 2017)

En términos generales hay dos grupos especialmente vulnerables a los efectos del mercurio. Los fetos son sensibles sobre todo a sus efectos sobre el desarrollo. La exposición intrauterina a metilmercurio por consumo materno de pescado o marisco puede dañar el cerebro y el sistema nervioso en pleno crecimiento del bebé. La principal consecuencia sanitaria del metilmercurio es la alteración del desarrollo neurológico. Por ello, la exposición a esta sustancia durante la etapa fetal puede afectar ulteriormente al pensamiento cognitivo, la memoria, la capacidad de concentración, el lenguaje y las aptitudes motoras y espacio-visuales finas del niño.

El segundo grupo es el de las personas expuestas de forma sistemática (exposición crónica) a niveles elevados de mercurio (como poblaciones que practiquen la pesca de subsistencia o personas expuestas en razón de su trabajo). En determinadas poblaciones que practican la pesca de subsistencia (del Brasil, el Canadá, China, Columbia y Groenlandia) se ha observado que entre 1,5 y 17 de cada mil niños presentaban trastornos cognitivos (leve retraso mental) causados por el consumo de pescado contaminado.

Un elocuente ejemplo de exposición al mercurio con consecuencias para la salud pública se produjo en Minamata (Japón) entre 1932 y 1936: durante aquellos años una fábrica de ácido acético estuvo vertiendo en la bahía de Minamata líquidos residuales que contenían elevadas concentraciones de metilmercurio. En la bahía había abundantes peces y mariscos que constituían el principal medio de vida de los ribereños y pescadores de otras zonas.

Durante muchos años nadie advirtió que los peces estaban contaminados con mercurio y que ello provocaba una extraña dolencia que afectaba a la población de la localidad y otros distritos. Al menos 50 000 personas resultaron afectadas en mayor o menor medida, y se acreditaron más de 2 000 casos de la enfermedad de Minamata, que alcanzó su apogeo en el decenio de 1950, con enfermos de gravedad afectados de lesiones

cerebrales, parálisis, habla incoherente y estados delirantes. El mercurio elemental y el metilmercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico. La inhalación de vapor de mercurio puede ser perjudicial para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo y los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales. Las sales de mercurio inorgánicas son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto intestinal y, al ser ingeridas, pueden resultar tóxicas para los riñones.

Tras la inhalación o ingestión de distintos compuestos de mercurio o tras la exposición cutánea a ellos se pueden observar trastornos neurológicos y del comportamiento, con síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria, efectos neuromusculares, cefalea o disfunciones cognitivas y motoras. En trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos de al menos  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de mercurio elemental se pueden observar signos subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. Se han descrito efectos en los riñones que van de la proteinuria a la insuficiencia renal.

Hay varias formas de prevenir los efectos perjudiciales para la salud, por ejemplo fomentar las energías limpias, dejar de utilizar mercurio en las minas auríferas, acabar con la minería del mercurio o eliminar progresivamente productos no esenciales que contienen mercurio.

La combustión de carbón para la generación de electricidad y calor es una fuente importante de mercurio. El carbón contiene mercurio y otros contaminantes peligrosos de la atmósfera que son liberados cuando el carbón se quema en las plantas generadoras de electricidad, los quemadores industriales y las estufas domésticas.

El mercurio es un elemento que no se puede destruir. Por lo tanto, cabe la posibilidad de reciclar y destinar a otros usos el mercurio que ya está en circulación, sin necesidad de seguir extrayéndolo de las minas.

El uso de mercurio en las pequeñas minas auríferas de tipo artesanal es especialmente peligroso y tiene importantes consecuencias para la salud de las poblaciones vulnerables. Hay que promover y aplicar técnicas de extracción del oro sin mercurio (sin cianuro), y allí donde todavía se utilice mercurio hay que emplear métodos de trabajo más seguros para prevenir la exposición.

El mercurio está presente en muchos productos, entre ellos los siguientes:

- Pilas
- instrumental de medida como termómetros y barómetros
- interruptores y relés eléctricos en diversos aparatos
- lámparas (incluidos ciertos tipos de bombilla)
- amalgamas dentales (para empastes)
- productos para aclarar la piel y otros cosméticos
- productos farmacéuticos.

Se están adoptando muy diversas medidas para reducir los niveles de mercurio en ciertos productos o retirar progresivamente otros productos que lo contienen. En el sector sanitario los termómetros y tensiómetros que contienen mercurio están siendo reemplazados por dispositivos alternativos. En los servicios de atención de salud de casi todos los países se utilizan amalgamas dentales.

En 2009, una consulta de expertos organizada por la OMS arrojó la conclusión de que una prohibición mundial y a corto plazo de las amalgamas plantearía problemas de salud pública y para el sector de la odontología, pero que en cambio convenía proseguir su eliminación gradual fomentando la prevención y alternativas a las amalgamas, así como actividades de investigación y desarrollo para obtener alternativas costo eficaces, la formación de los profesionales del ramo y un mayor nivel de conciencia pública.

El uso de mercurio en ciertos productos farmacéuticos, como el tiomersal (etilmercurio), utilizado como conservante en algunas vacunas, reviste escasa importancia en comparación con otras fuentes de mercurio.

No hay datos indicativos de que las cantidades de tiomersal utilizadas actualmente en las vacunas humanas supongan un posible peligro para la salud. A algunos productos para aclarar la piel se les añaden cantidades importantes de mercurio inorgánico. Muchos países han prohibido los productos de este tipo que contienen mercurio porque son peligrosos para la salud humana.

#### **2.2.4.6. Cobalto**

El cobalto es un elemento que ocurre naturalmente y que tiene propiedades similares al hierro y al níquel. Se encuentra en forma natural en el suelo, rocas, aire, agua, plantas y animales. El cobalto que se deposita en el suelo generalmente se adhiere fuertemente a las partículas del suelo. Las plantas pueden acumular cantidades muy pequeñas de cobalto desde el suelo en las partes comestibles como fruta, granos y semillas. Aunque los animales que comen estas plantas acumulasen cobalto, éste no se biomagnifica (aumento de la concentración a lo largo de la cadena alimentaria). Las hortalizas, frutas, pescado y carne generalmente no contienen cantidades muy altas de cobalto. El cobalto es un elemento esencial para la salud de seres humanos y animales y, por lo tanto, es importante que los alimentos contengan cantidades adecuadas.

El cobalto tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud. Es beneficioso para seres humanos porque forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>. Además, estimula la producción de los glóbulos rojos en personas con anemia. Es indispensable para el mantenimiento y buen funcionamiento de las células rojas de la sangre. Es un factor hipoglucemiante, y gran parte de las funciones que desempeña la vitamina B<sub>12</sub> se realizan gracias a la acción de la porción de cobalto que hay en su molécula.

El cobalto también es esencial para la salud de animales como el ganado vacuno y las ovejas. La exposición de seres humanos y animales a los niveles de cobalto que se encuentran normalmente en el ambiente no produce daño. Sin embargo, cuando el cuerpo absorbe demasiado cobalto pueden ocurrir efectos perjudiciales, principalmente respiratorios lo que ocurre generalmente por inhalación. Además, se produce un exceso de glóbulos rojos con mucha hemoglobina lo que se manifiesta como policitemia. (Enciclopedia.us.es, s.f.)

#### **2.2.4.7. Cobre**

El cobre es un elemento esencial para los animales y humanos. Está asociado con las proteínas y enzimas. También es esencial para la reproducción, el cobre puede ser tóxico para los animales. La toxicidad en ganado y ovejas ocurre en concentraciones entre 25 a 100 mg kg<sup>-1</sup> peso seco (38) se acumula en el hígado, cerebro y pelo.

El cobre es tóxico para el hombre pero no venenoso. dependiendo de la dieta y de la edad se concentra en el hígado. La enfermedad de Wilson es causada por la acumulación de cobre en el hígado y sistema nervioso central debido a la incapacidad del cuerpo para excretarlo. Los efectos agudos que puede causar incluyen úlceras gastrointestinales, necrosis hepática y daño renal.

La deficiencia de cobre puede producir anemia asociada a problemas en la absorción de hierro, desequilibrios mentales o nerviosos, problemas en los huesos y sistema cardiovascular. Sin embargo, no es usual encontrar efectos tóxicos agudos por la capacidad del hígado de reciclarlo.

Las formas solubles e intercambiables de cobre son consideradas fácilmente disponibles para las plantas. En la mayoría de las plantas, la dosis tóxica fluctúa entre 25 a 40 mg kg<sup>-1</sup> peso seco. El cobre está presente en proteínas y enzimas de plantas y tiene un papel importante en la fotosíntesis y respiración celular. La deficiencia de cobre puede producir crecimiento lento y problemas en la reproducción de las plantas. La deficiencia de cobre en la planta puede deberse a que el fósforo, Mn o, Zn. compiten con el cobre disponible. Otros factores que afectarían la concentración de cobre en las plantas son la actividad microbiana, la humedad, el pH, el potencial redox y la especie de planta. (Maidana Robles, 2016)

### **2.2.5.8. ZINC**

El zinc (Zn) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y constituye aproximadamente un 0,02 % de la corteza terrestre. Adopta la forma de sulfuro (esfalerita), carbonato, óxido o silicato (calamina) de zinc, combinado con muchos minerales. La esfalerita, el principal mineral de zinc y fuente de al menos el 90 % del zinc metálico, contiene hierro y cadmio como impurezas. Casi siempre aparece acompañado de galena, el sulfuro de plomo, y ocasionalmente se encuentra asociado con minerales que contienen cobre u otros sulfuros metálicos básicos.

#### **Toxicidad del zinc**

A pesar de que el zinc es el menos tóxico de todos los oligoelementos, y aunque su margen de seguridad (diferencia entre la dosis tóxica y la dosis recomendada) es muy amplio, es necesario evaluar su toxicidad. Ello se puede establecer mediante el estudio de la Tolerable Upper Intake Level (UL), que se define como el nivel más alto de la ingesta diaria de un nutriente que no supone un riesgo o efectos adversos sobre la salud de casi todos los individuos. Este parámetro se calcula a partir de la ingesta total. Para el Zn proveniente tanto de los alimentos, como del agua y suplementos el UL es de 40 mg/día<sup>46</sup>.

Existen ciertos trabajos que indican el posible desarrollo de alteraciones como consecuencia de la ingestión de dosis moderadamente elevadas durante períodos de tiempo más o menos largos. Se ha demostrado como en hombres, un elevado consumo de suplementos de zinc produce un riesgo significativamente mayor de cáncer avanzado de próstata, así como la inhibición de los efectos beneficiosos de los biofosfonatos, el incremento de los niveles de testosterona, incremento de colesterol, reducción de los niveles de HDL (High Density Lipoprotein Cholesterol) y puede fomentar una disfunción inmune.

Una suplementación con zinc, especialmente en altas dosis, también puede producir otros efectos adversos como interferir y disminuir el estatus corporal de cobre. Un caso especial se describe en un estudio realizado por Salzman y cols. en 2002 en el que los autores describen la intoxicación por zinc de un individuo de 17 años que durante 6-7 meses tomó elevadas dosis diarias de zinc en forma de suplementos y que desarrolló una hipocupremia con anemia, leucopenia y neutropenia<sup>75</sup>. Esta anemia inducida por una hipocupremia por un exceso de zinc también, además de una nefrosis, se observa en otro caso de ingesta elevada de zinc (concretamente 2.000 mg de gluconato de zinc durante 12 meses). En ambos casos los efectos tóxicos remitieron al suprimir las ingestas de zinc.

La inhalación de altas concentraciones de este metal, concretamente en forma de cloruro de zinc, puede causar neumonitis y un síndrome respiratorio en el adulto<sup>3</sup>.

In Vitro, el Zn produce citotoxicidad por un detrimento de los niveles de glutatión reducido y un incremento de los niveles de la forma oxidada del glutatión<sup>77</sup>. También in vitro y a niveles elevados, produce muerte celular debido a que en primer lugar es capaz de generar especies reactivas de oxígeno y en segundo lugar a que activa la cascada de la MAP-kinasa<sup>78</sup>. (OIT)

### **2.2.5. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua.**

El 07 de Junio de 2017 se ha publicado en el diario oficial El Peruano el Decreto Supremo N° 004 – 2017 - MINAM, donde se modifican los parámetros y valores de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua aprobados por Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y Decreto Supremo N° 015 – 2015 – MINAM. El mismo que se ha tomado como referencia en la presente investigación para comparar los resultados de los valores de metales pesados encontrados en el monitoreo de aguas de las cuencas de los ríos Ucayali, Abujao y Sepahua y los Límites Máximos Permisibles establecidos en la norma vigente.

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

El artículo 3. Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental de Aguas inciso 3.4; Categoría 4. Conservación del ambiente acuático Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a)** Subcategoría E1: Lagunas y lagos Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lenticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos** Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la selva Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua son de cumplimiento obligatorio en la determinación de los usos de los cuerpos de agua, atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, son referentes obligatorios en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiendo entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente.

### Parámetros y valores consolidados

#### Categoría 4: Conservación del Medio Acuático

PARÁMETRO	UNIDAD	RÍOS DE LA SELVA	LAGOS Y LAGUNAS
Antimonio	mg/L	0,61	0,64
Arsénico	mg/L	0,15	0,15
Bario	mg/L	1	0,7
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025
Cobre	mg/L	0,1	0,1
Cromo	mg/L	0,011	0,011
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001
Niquel	mg/L	0,052	0,052
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025
Selenio	mg/L	0,005	0,005
Talio	mg/L	0,0008	0,0008
Zinc	mg/L	0,12	0,12

**Fuente:** Decreto Supremo N° 004 -2017-MINAN.

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Tipo de investigación**

Investigación de tipo no experimental, permitió describir o presentar sistemáticamente las características o rasgos distintos de los niveles de metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali, durante el periodo del 2003 al 2015.

#### **3.1.2. Nivel de investigación**

Investigación de nivel descriptivo, retrospectivo, se realizó la descripción, análisis e interpretación de los niveles de metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali en un momento y tiempo histórico, concreto y determinado. (Carrasco Diaz, 2013)

## **3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Método de la Investigación**

En la presente investigación se consideró el método analítico sintético, se estudió la realidad separando e integrando alternativas entre los elementos empíricos y teóricos.

### **3.2.2. Diseño de la investigación**

El presente es una investigación no experimental, de diseño transversal descriptivo, mediante el cual se analizó las características, rasgos, propiedades y cualidades del nivel de metales pesados en las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali, durante el período del 2003 al 2015.

Los diseños no experimentales analizan y estudian los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia. (Carrasco Diaz, 2013)

## **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA}**

### **3.3.1. Población:**

La población estuvo conformada por las cuencas de los ríos Abujau, Sepahua y Ucayali

### **3.3.2. Muestra:**

La muestra representa los 41 puntos de muestreo de las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujau, Sepahua y Ucayali

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.4.1. Técnica**

Mediante la observación y revisión documental de los diversos registros se ubicaron los resultados de los estudios de aguas superficiales realizadas en las cuencas del río Abujao, Sepahua y Ucayali, durante el período del 2003 al 2015 y se procedió con la recolección de datos.

#### **3.4.2. Instrumento**

Como instrumento se utilizó un formato de recolección de datos elaborado por el responsable de la investigación, de manera coherente, organizada y estructurada de acuerdo a una determinada planificación que permitió alcanzar los objetivos de la presente investigación.

### **3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

La revisión de la información histórica de la contaminación por metales pesados de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali, se realizó basándose en datos disponibles en el Área de Protección de Recursos Hídricos de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) del período del 2003 al 2015. Para alcanzar este objetivo se realizaron coordinaciones interinstitucionales para permitir la información disponible.

La Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) tiene a su cargo el área de Protección de Recursos Hídricos, que está encargada de la vigilancia y monitoreo de los recursos hídricos, realizan el monitoreo periódico de la calidad del agua a lo largo de las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali.

### **3.6. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos fueron procesados en el programa Excel y analizados mediante estadística descriptiva básica a partir de los valores de metales pesados identificados.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

En las Tablas N° 1, 2, 3, se presentan los resultados del nivel de metales pesados identificados en el periodo del año 2003 al año 2015 en las aguas de las cuencas del río Abujao, Sepahua y Ucayali, considerando un total de 41 puntos de muestreo (20 en el Río Abujao y su afluentes, 03 en el río Sepahua y afluentes y 18 en el río Ucayali y afluentes). Así como la comparación de los valores de metales pesados con los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

**Tabla 1**  
**Determinación de metales pesados en la Cuenca del Río Abujao y sus afluentes de 2003 al 2006**

Fecha de Muestreo	PUNTO DE MUESTREO	TIPOS DE METALES PESADOS					
		Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
11/07/2003	Caserío 28 de Julio	-	0.01	<0.050	-	0.04	-
	Quebrada de Huayhuantal	-	0.035	<0.050	-	0.04	-
	Caserío Santa Luz	-	<0.005	<0.050	-	<0.025	-
	Boca de Shesha	-	0.008	<0.050	-	<0.025	-
	Caserío Abujao	-	0.008	<0.050	-	<0.025	-
04/03/2006	Boca de la quebrada paujil	<0.010	0.015	<0.050	<0.0001	<0,025	0.059
	Boca de la quebrada Shesha	<0.010	0.02	<0,050	<0.0001	<0,025	0.061
	Caserío Abujao	<0.010	0.024	<0.050	<0.0001	<0.025	0.08
	Boca del río Abujao	<0.010	<0.005	<0,050	<0.0001	<0.025	<0,038
21 y 22/06/2006	Quebrada Shimbillal	<0.010	0.051	<0.050	0.0002	0.124	0.239
	20 mt. De la descarga de la quebrada Shimbillal aguas arriba	<0.010	<0.005	<0.050	<0.0001	<0.025	0.059
	30 mt. De la descarga de la qebrada Shimbillal aguas abajo	<0.010	<0.005	<0.050	<0.0001	<0.025	0.062
	Quebrada Huayhuantal, 10 metros antes de la actividad minera	<0.010	<0.005	<0.050	<0.0001	<0.025	0.038
	Quebrada Hauyhuantal, 30 mt. Despues de la actividad minera	0.012	1.159	0.127	0.0037	2.174	4.099
	Quebrada Huayhuantal	<0.010	0.041	<0.050	<0.0001	0.085	0.195
31/03 y 01/04/2006	200 mt. De la descarga de la quebrada Huayhuantal aguas abajo	<0.010	<0.005	<0,050	-----	<0.025	0.064
	Quebrada de Huayhuantal, 50 metros antes del Río Abujao	<0.010	0.129	0.064	0.00046	0.207	0.437
	Quebrda Paujil, 50 mt. Antes de la confluencia con el Río Abujao	<0.010	0.011	<0.050	<0.00011	<0.025	0.058
	Quebrada Shesha, 50 mt. Antes del Río Abujao	<0.010	0.013	<0.050	-	0.03	0.052
	Río Abujao, frente al Caserío Abujao	<0.010	0.034	<0.050	-	0.032	0.156
<b>LMP* (D.S N° 004-2017-MINAM)</b>		<b>0,00025</b>	<b>0,1</b>	<b>0,011</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,12</b>

Fuente: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental – DIRESA Ucayali.

(<): El equipo utilizado no detecta menos de este valor.

 Valores por debajo del LMP

 Valores por encima del LMP

\*LMP: Límite Máximo Permissible (D.S N° 004-2017-MINAM)

En la **Tabla 1**, se muestra los resultados del monitoreo de agua en la Cuenca del río Abujao. La población ubicada en esta zona se abastece de agua para consumo humano que procede del río Abujao y sus afluentes. Para determinar la presencia de metales pesados en el periodo del año 2003 al 2006, se recolectaron muestras de agua en 20 puntos de muestreo del Río Abujao y sus afluentes.

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), los resultados del estudio laboratorial determinaron la presencia de Plomo (0.04mg/L), en el Caserío 28 de Julio y la Quebrada Huayhuantal. Así mismo en la Quebrada Shimbillal se ha detectado la presencia de Mercurio (0,0002 mg/L), Plomo (0,124 mg/L) y Zinc (0,239 mg/L).

En la Quebrada Huayhuantal, 30 mt., después de la actividad minera se identificó la presencia de Cadmio (0,012mg/L), Cobre (1,159 mg/L), Cromo (0,127 mg/L), Mercurio (0,0037 g/L), Plomo (2,174 mg/L) y Zinc (4,099 mg/L). En la Quebrada Huayhuanal se detectó Plomo (0,085 mg/L) y Zinc (0,195 mg/L). En la Quebrada Huayhuantal, 50 mt. antes del Río Abujao se determinó la presencia de Cobre (0,129 mg/L), Cromo (0,064 mg/L), Mercurio (0,00046 g/L), Plomo (0,207 mg/L) y Zinc (0,437 mg/L). En la quebrada Shesha, 50 mt. Antes del río Abujao se identificó Plomo (0,03 mg/L) y en el Río Abujao frente al Caserío Abujao se ha detectado la presencia de Plomo (0,032 mg/L) y Zinc (0,156 mg/L).

Todos estos valores descritos **superan el Límite Máximo Permisible** según los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. No fue posible comparar los valores de otros metales pesados con los valores de Límite Máximo Permisible debido a que los equipos utilizados no permitieron detectar los niveles de metales pesados por debajo de los valores mostrados.



**Tabla 2**  
**Determinación de metales pesados en la Cuenca del Río Sepahua y sus afluentes- 2015**

FECHA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	TIPOS DE METALES PESADOS										
		Antimonio	Arsenéico	Bario	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Niquel	Plomo	Selenio	Zinc
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
21/02/2015	Orilla del Río Mishagua, frente al Barrio Serjali	<0,015	0,0040	0,08	<0.0005	0.003	0.002	<0.0001	<0,005	<0,007	<0,023	0.02
	Orilla del Río Mishagua, frente al Barrio Nuevo Serjali	<0,015	0,0033	0,09	<0.0005	0.004	0.003	<0.0001	<0,005	<0,007	<0,023	0.02
	Orilla del Río Mishagua, frente al Barrio Nuevo San Martín	<0,015	0,0042	0,13	0.001	0.01	0.009	<0.0001	0,01	<0,007	<0,023	0.05
<b>LMP* (D.S N°004-2017-MINAM)</b>		<b>0,61</b>	<b>0,15</b>	<b>1</b>	<b>0,00025</b>	<b>0,1</b>	<b>0,011</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,052</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,005</b>	<b>0,12</b>

**Fuente:** Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental – DIRESA Ucayali.

(<): El equipo utilizado no detecta menos de este valor.

Valores por debajo del LMP

\*Límite Máximo Permissible (D.S N° 004-2017-MINAM)

En la **Tabla 2**, se muestra los resultados del monitoreo de agua en la Cuenca del río Sepahua. La población ubicada en esta zona se abastece de agua para consumo humano que procede del Río Sepahua y sus afluentes.

Para determinar la presencia de metales pesados el 21 de Mayo del año 2015, se recolectaron muestras de agua en tres puntos de muestreo del Río Mishagua. Muestra 1: Río Mishagua, frente al Barrio Serjali. Muestra 2: río Mishagua, frente al Barrio Nueva Serjali. Muestra 3: río Mishagua, frente al Barrio Nueva San Martín. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), los resultados del estudio laboratorial determinaron la presencia de Arsénico (0.0040 mg/L), Bario (0,08 mg/L), Cobre (0,003 mg/L), Cromo (0,002 mg/L) y Zinc (0,02 mg/L) en la orilla del Rio Mishagua frente al Barrio Serjali. Así mismo se determinó la presencia de Arsénico (0.0033 mg/L), Bario (0,09 mg/L), Cobre (0,004 mg/L), Cromo (0,003 mg/L) y Zinc (0,02 mg/L) en la orilla del Rio Mishagua frente al Barrio Nuevo Serjali. Del mismo modo se determinó la presencia de Arsénico (0.0042 mg/L), Bario (0,13 mg/L), Cadmio (0,001 mg/L), Cobre (0,01 mg/L), Cromo (0,009 mg/L), Níquel (0,01 mg/L) y Zinc (0,05 mg/L).

Todos estos valores descritos se encuentran por **debajo del Límite Máximo Permisible** según los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004- 2017-MINAM. No fue posible comparar los valores de otros metales pesados con los valores de Límite Máximo Permisible ya que los equipos utilizados no permitieron detectar los niveles de metales pesados por debajo de los valores mostrados.

**Tabla 3**

**Determinación de metales pesados en la Cuenca del Río Ucayali y sus afluentes: 2014 - 2015**

FECHA DE MUESTREO	PUNTO DE MUESTREO	TIPOS DE METALES PESADOS										
		Antimonio	Arsénico	Bario	Cadmio	Cobre	Cromo	Mercurio	Niquel	Plomo	Selenio	Zinc
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
02/2015	Iparia Balsa de captacion		1	0.056	<0.001	<0.004	0.004		<0.006	<0.009		<0.019
	Iparia Salida de reservorio		1	0.045	<0.001	<0.004	0.002		<0.006	<0.009		<0.019
11/09/2014	A 1km aguas debajo de la desembocadura del Río Pachitea	<0.002	0.002	0.1	<0.0004	0.0073	0.0029	<0.0001	0.003	0.0047	<0.003	0.016
	Quebrada Manantay puerto ex papelera	<0.002	<0.001	0.067	<0.0004	0.0054	0.0007	<0.0001	0.0009	0.0016	<0.003	0.003
	Quebrada Manantay dentro del casco urbano	<0.002	<0.001	0.065	<0.0004	0.003	<0.0004	<0.0001	<0.0004	0.0021	<0.003	0.0044
	Quebrada Manantay Poco antes de la desembocadura al Río Ucayali	<0.002	0.0016	0.104	0.0008	0.0086	0.0032	<0.0001	0.0031	0.0058	<0.003	0.036
12/09/2014	Quebrada Manantay Parque Natural de Pucallpa	<0.002	<0.001	0.11	<0.0004	0.0147	0.001	<0.0001	0.001	0.0055	<0.003	0.084
	Quebrada Manantay Poco antes de la desembocadura al Río Ucayali	<0.002	<0.001	0.098	<0.0004	0.008	0.0019	<0.0001	0.002	0.0058	<0.003	0.042
	3Km antes de la desembocadura de la Quebrada Manantay	<0.002	0.005	0.119	0.0008	0.0111	0.0046	<0.0001	0.0054	0.0061	<0.003	0.025
	Puerto principal - Malecon Grau - Reloj Público	<0.002	0.0024	0.099	<0.0004	0.0091	0.0027	<0.0001	0.0032	0.0042	<0.003	0.015
	Sector Pacacocha	<0.002	0.002	0.082	<0.0004	0.0063	0.0013	<0.0001	0.0014	0.0023	<0.003	0.0093
	2Km aguas debajo de la ciudad, area agricola de uso temporal	<0.002	0.0042	0.1035	0.0004	0.0109	0.0034	<0.0001	0.0036	0.0053	<0.003	0.0196
13/09/2014	Yarinacocha Sector la Restinga	<0.002	0.0278	0.1103	<0.0004	0.0048	0.001	<0.0001	0.001	0.0029	<0.003	0.0059
	Poco antes de la desembocadura a la Laguna de Yarinacocha	<0.002	0.013	0.0878	<0.0004	0.0021	0.0007	<0.0001	<0.0004	0.002	<0.003	0.0036
	Puerto Principal de Yarinacocha	<0.002	0.025	0.0929	<0.0004	0.0066	0.0004	<0.0001	<0.0004	0.0017	<0.003	0.0036
	Poco antes de la desembocadura a la Laguna de Yarinacocha	<0.002	0.025	0.084	<0.0004	0.0027	<0.0004	<0.0001	0.0004	0.0013	<0.003	<0.003
	Poco antes de la desembocadura a la Laguna de Yarinacocha	<0.002	0.0183	0.0996	<0.0004	0.0077	0.0023	<0.0001	0.0018	0.005	<0.003	0.0113
	CC.NN San Francisco	<0.002	0.0162	0.1057	<0.0004	0.0054	0.0023	<0.0001	0.0022	0.0028	<0.003	0.011
<b>LMP* (D.S N° 004-2017-MINAM)</b>		<b>0,61</b>	<b>0,15</b>	<b>1</b>	<b>0,00025</b>	<b>0,1</b>	<b>0,011</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,052</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,005</b>	<b>0,12</b>

Fuente: Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental – DIRESA Ucayali.

(<): El equipo utilizado no detecta menos de este valor.

 Valores por debajo del LMP

 Valores por encima del LMP

\*LMP: Límite Máximo Permissible (D.S N° 004-2017-MINAM)

En la **Tabla 3**, se muestra los resultados del monitoreo de agua en la Cuenca del río Ucayali. La población ubicada en esta zona se abastece de agua para consumo humano que procede del Río Ucayali y sus afluentes.

Para determinar la presencia de metales pesados, en el mes de Febrero del año 2015, se recolectaron muestras de agua en dos puntos de muestreo, mientras que del 11 al 13/09/2014, se recolectaron muestras de agua en 18 puntos de muestreo. El estudio laboratorial ha determinado la presencia de Arsénico (1 mg/L) en la balsa de captación y salida de reservorio ubicada en la localidad de Iparía. Así mismo se identificó la presencia de Plomo (0,0047 mg/L) a 1 Km. Por debajo de la desembocadura del Río Pachitea, (0,0058 mg/L) en la Quebrada de Manantay poco antes de la desembocadura del río Ucayali, (0,005 mg/L) en la Quebrada de Manantay Parque Natural de Pucallpa, (0,0058 mg/L) Quebrada de Manantay poco antes de la desembocadura del río Ucayali, (0,0061 mg/L) 3 Km. Antes de la desembocadura de la Quebrada Manantay, (0,0042 mg/L) en el puerto principal malecón Grau del Reloj Pública, (0,0053 mg/L) a 2 Km. Aguas debajo de la ciudad área agrícola de uso temporal, (0,0029 mg/L) en el Sector La Restinga de la Laguna de Yarinacocha, (0,0028 mg/L) en la Comunidad Nativa San Francisco.

Estos valores de metales pesados encontrados y descritos se encuentran **por encima del Límite Máximo Permisible** según los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. No fue posible comparar los valores de otros metales pesados con los valores de Límite Máximo Permisible debido a que los equipos utilizados no permitieron detectar por debajo de los valores mostrados.

## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN

En la presente investigación se muestra la información de los resultados de monitoreo muestras de agua realizadas en las cuencas de los ríos Abujao, Sepahua y Ucayali durante el periodo del año 2003 al 2015, que se encuentran en los archivos del Área de Protección de Recursos Hídricos de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de la Dirección Regional de Salud de Ucayali.

Durante el período de estudio se realizó el monitoreo de agua en 41 puntos de muestreo. Del año 2003 al 2006 fueron analizadas las muestras de agua procedentes de 20 puntos de muestreo procedentes de la cuenca del río Abujao; Del año 2014 al 2015 fueron analizadas las muestras de agua procedentes de 21 puntos de muestreo (18 procedentes de la cuenca del río Ucayali y 03 de la cuenca del río Sepahua).

**Tabla 1.** Al analizar los resultados de los estudios de agua realizados durante el periodo del 2003 al 2006, en 20 puntos de muestreo de la Cuenca del río Abujao y compararlos con los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encontró concentraciones de Plomo, Zinc, Cadmio, Cobre y Cromo por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP), en puntos de muestreo

ubicados en el Caserío 28 de Julio, Quebrada Shimbillal, Quebrada Huayhuantal, Quebrada Shesha y Caserío Abujao. Del mismo modo se encontró niveles altos de Mercurio en la Quebrada Shimbillal, Quebrada Shimbillal a 30 mt. Después de la actividad minera y en la Quebrada Huayhuantal a 50 mt. Antes del río Abujao.

Los resultados sobre niveles de metales pesados encontrados en el monitoreo de agua de la Cuenca del río Abujao coincide con lo encontrado por (Macías, 2015), en su investigación realizada en México donde describe la presencia de Cadmio y Plomo con valores por encima de los límites máximos permisibles. Sin embargo es diferente a los resultados de metales encontrado por (Chata Quenta, 2015) en su investigación realizada en el río Cata en Puno y (Juarez Soto, 2012) en su investigación realizada en agua del río Rímac, quienes encontraron que las concentraciones de mercurio, plomo y cadmio encontrados ningunos superan los límites máximos permisibles (LMP).

Esto evidencia que durante el período de estudio la presencia de metales pesados como plomo, zinc, cromo, cadmio y cobre fue en forma permanente con valores por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP), poniendo en riesgo la salud de las personas que viven en las riberas del río Abujao, habiendo encontrado incluso la presencia de mercurio en las quebradas de Shimbillal y Huayhuantal. Es importante describir que durante el periodo de estudio existían un promedio 150 concesiones informales que se dedicaban a la actividad ilegal de extracción de oro, el mismo que persiste hasta la actualidad debido a que aún laboran 02 concesiones formales y otras no informales que no son monitoreadas por la Dirección de Energía y Minas.

**Tabla 2.** Al analizar los resultados de los estudios de agua realizado el 21 de Mayo de 2015, en 03 puntos de muestreo de la Cuenca del río Sepahua y compararlos con los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encontró concentraciones de Arsénico, Bario, Cobre, Cromo y Zinc por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Este resultado encontrado

es similar a los resultados de metales pesados encontrado por (Chata Quenta, 2015) en su investigación realizada en el Río Cata en Puno y (Juarez Soto, 2012) en su investigación realizada en agua del río Rímac, quienes encontraron que las concentraciones de mercurio, plomo y cadmio encontrados ningunos superan los límites máximos permisibles (LMP).

**Tabla 3.** Al analizar los resultados encontrados durante el período del 2014 al 2015, de la concentración de metales pesados presentes en 18 puntos de muestreo de la Cuenca del río Ucayali y compararlos con los parámetros y categorías de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua señalado en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, se encontró niveles altos de concentración de Arsénico en la localidad de Iparía niveles altos de Plomo en los puntos de muestreo ubicados a en la desembocadura del río Pachitea, en la Quebrada de Manantay, en el puerto principal Malecón Grau del Reloj Público, en áreas agrícolas de uso temporal, en el sector la Restinga de la Laguna de Yarinacocha y en la Comunidad Nativa San Francisco.

Todos los valores encontrados están por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Los resultados sobre niveles de metales pesados encontrados en el monitoreo de agua de la Cuenca del Río Ucayali coincide con lo encontrado por (Macías, 2015) , en su investigación realizada en México donde describe la presencia de Cadmio y Plomo con valores por encima de los límites máximos permisibles.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que durante el periodo de estudio del 2003 al 2015, los niveles de Plomo, Mercurio, Zinc, Cadmio, Cobre, Cromo identificados en la cuenca del Río Abujao; así como Arsénico y Plomo detectados en la Cuenca del río Ucayali sobrepasan los Límites Máximos Permisibles (LMP). En el río Mishagua afluente de la cuenca del río Sepahua los niveles de Arsénico, Bario, Cobre, Cromo, Zinc, Cadmio y Níquel identificados se encuentran por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP).
2. Los resultados obtenidos en la cuenca del río Abujao y afluentes muestra niveles altos de Plomo 0.030 mg/L hasta 2.174 mg/L, Zinc 0.156 hasta 4.099 mg/L, Cadmio 0.012 mg/L, Cobre 0,129 y 1,159 mg/L, Cromo 0,064 y 0,127 mg/L y presencia de Mercurio en la quebrada Shimbillal y Huayhuantal.
3. La Cuenca del río Sepahua muestra niveles bajos de Arsénico desde 0,0033 hasta 0,0042 mg/L, Bario 0,08 hasta 0,13 mg/L, Cadmio 0,001 mg/L, Cobre 0,003 hasta 0.01 mg/L, Cromo 0,002 hasta 0,009 mg/L, Níquel 0,01 mg/L y Zinc 0,02 hasta 0,05 mg/L.
4. En la cuenca del río Ucayali la determinación de metales pesados muestra niveles altos de Arsénico 1 mg/L y Plomo con valores desde 0,0028 hasta 0,0061 mg/L.

## **RECOMENDACIONES**

- La Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental debe continuar realizando el monitoreo de agua en la cuenca del río abujao, ya que la misma presenta niveles de metales pesados por encima de los límites máximos permisibles (LMP)
- Los equipos de intervención de la Dirección Ejecutiva de Salud ambiental deben utilizar tecnología acorde para poder detectar la presencia de metales pesados en la cuenca del río Sepahua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. New York, USA.
- ATSDR. (1999). Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phshome.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phshome.html)
- Carrasco Diaz, S. (2013). *Metodología de la Investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Cartagena Diaz, W. (1999). *Minería, Petroleo y Medio Ambiente*. (C. e. Naturales-CIGREN, Ed.) Lima: La Esperanza.
- Chaney, R. (1983). *Potential Effects of Waste Constituents on the Food Chain*.  
Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/279891898\\_Potential\\_Effects\\_of\\_Waste\\_Constituents\\_on\\_the\\_Food\\_Chain](https://www.researchgate.net/publication/279891898_Potential_Effects_of_Waste_Constituents_on_the_Food_Chain)
- Chata Quenta, A. (2015). *Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb, y Cd) En agua y Leche en la Cuenca del Río Coata*. tesis de pre grado, Puno. Recuperado el 18 de Febrero de 2018, de  
[http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata\\_Quenta\\_Ayde.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata_Quenta_Ayde.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- constitucionales, C. d. (2015). *Constitución Política del Perú* (Primera edición ed.). Lima, Perú. Obtenido de  
[https://www.tc.gob.pe/tc/private/adjuntos/cec/publicaciones/publicacion/Compendio\\_Normativo.pdf](https://www.tc.gob.pe/tc/private/adjuntos/cec/publicaciones/publicacion/Compendio_Normativo.pdf)
- Correa M, B. M. (2015). ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE METALES EN AGUAS, SEDIMENTOS Y PECES EN LA CUENCA DEL RÍO SANTIAGO, PROVINCIA DE ESMERALDAS, ECUADOR. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, IV(2), 32-43. Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/284720507\\_Revista\\_Cientifica\\_Interdisciplinaria\\_Investigacion\\_y\\_Saberes\\_2015\\_32\\_ANALISIS](https://www.researchgate.net/publication/284720507_Revista_Cientifica_Interdisciplinaria_Investigacion_y_Saberes_2015_32_ANALISIS)

- Enciclopedia.us.es. (s.f.). Obtenido de [www.encyclopedia.us.es/index.php/Cobalto](http://www.encyclopedia.us.es/index.php/Cobalto)).
- Flanagan, S., Johnston, R., & Zheng, Y. (Diciembre de 2012). *Arsénico en el agua de pozos de tubos en Bangladesh: Impactos y consecuencias para la mitigación del arsénico*. Nota descriptiva N°372, OMS.
- Fox, M. (1986). Nutritional factors that may influence bioavailability of cadmium. *Journal of environmental quality*, 17(2), 175-180. Obtenido de <https://dl.sciencesocieties.org/publications/jeq/abstracts/17/2/JEQ0170020175>
- Galván-Arzate S, S. A. (1998). Thallium toxicity. *Toxicol Lett* 1998; 99: 1-13). *Pub Med. gov*, 99(1), 1-13. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/980102>
- Galvan-Arzate, S., Martinez, A., Medina, E., Santamaria, A., & Ríos, C. (2000). *La administración subcrónica de dosis subletales de talio a ratas: efectos sobre la distribución y la peroxidación lipídica en las regiones cerebrales*.
- Geesey, G. (1984). Influence of flow-related events on concentration and phase distribution of metals in the lower Fraser River and a small tributary stream in British Columbia, Canada. *Water Research*, 18, 233-238. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135484900745>
- Gwaltney-Brant. (2002). Metales pesados. En W. Haschek, C. Rosseaux, & A. Walling, *Toxicologic Pathology* (págs. 701-32). New York.
- Juarez Soto, H. (2012). *Contaminación del río Rimac por metales pesados y efecto en la agricultura en el cono Este de Lima Metropolitana*. Tesis doctoral, Universidad Agraria la Molina, Lima. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://www.aguasanperu.org/Docs/CalidadDeAguaEnElRioRimac.pdf>
- Macías, P. (2015). *Determinación de metales pesados (Pb, Cd, Cr) en agua y sedimentos de la zona estuarina del río Tuxpan, Veracruz*. Tesis de maestría, Mexico. Recuperado el 21 de febrero de 2018, de <https://www.uv.mx/pozarica/mca/files/2012/10/Tesis-Patricia-Guadalupe-Macias-Hernandez.pdf>

Maidana Robles, A. (Julio-Diciembre de 2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo Sogamoso-Boyacá. Colombia ISSN Impreso 1900-771X, ISSN KIPDF, 16(2), 66-77.*

Obtenido de [https://kipdf.com/contaminacion-por-metales-pesados-implicaciones-en-salud-ambiente-y-seguridad-al\\_5ae0a8dd7f8b9ab0528b462d.html](https://kipdf.com/contaminacion-por-metales-pesados-implicaciones-en-salud-ambiente-y-seguridad-al_5ae0a8dd7f8b9ab0528b462d.html)

Micaela, R. M. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México.* Tesis de Licenciatura, Mexico. Recuperado el 15 de Marzo de 2018, de <http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5088>

Micaela, R. M. (2011). *Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México.* Tesis de licenciatura, Mexico. Recuperado el 15 de marzo de 2018, de <http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/handle/123456789/5088>

MINSA, 2. (s.f.). Obtenido de <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/normas/2015/RM006-2015-MINSA.pdf>

Moore,, D., House, I., & Dixon, A. (1993). Envenenamiento por talio. *Br Med J, 306(9), 15-27.*

Murray, K. (1996). Statistical comparisons of heavy-metal concentrations in river sediments. . *Environmental Geology, 1(27), 54-58.* Obtenido de [https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/46769/254\\_2004\\_Article\\_BF00770602.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/46769/254_2004_Article_BF00770602.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Nava-Ruíz, C. M.-A. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio,plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién (Mex), 16(3), 140-147.* Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf>

OIT. (s.f.). *Metales:Propiedades químicas y toxicidad* (Segunda ed.). Recuperado el 8 de Mayo de 2018, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>

- OMS. (2015). *Intoxicación por plomo y salud*. nota descriptiva N° 379. Obtenido de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- OMS. (31 de Marzo de 2017). Recuperado el 22 de marzo de 2018, de <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>
- Repetto, G., Del Peso, A., & Repetto, M. (1998). Toxicidad humana en el talio. En T. i. tecnología (Ed.). Wiley, USA.
- Reynaga., V. y. (1900). *Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales*. Mexico: NORIEGA LIMUSA.SPIJ,S. P. (s.f.). Obtenido de [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley\\_n-28611.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_n-28611.pdf)
- Tebutt T, U. (1993). *Fundamentos de Control de Calidad del Agua*. Mexico: LIMUSA.
- Vink, R. (Junio de 1999). Development of the heavy metal pollution trends in several European rivers: an analysis of point and diffuse sources. *Water Science et Technology*, 39(12), 215-233. Obtenido de <http://wst.iwaponline.com/content/39/12/215>
- Wittmann, G. (1981). Toxic metals. In Metal pollution in the aquatic environment. Springer, Berlin. Obtenido de [https://www.google.com.pe/search?q=Wittmann%2C+G.+\(1981\).+Toxic+metals.+In+Metal+pollution+in+the+aquatic+environment+\(pp.+3-70\).+Springer%2C+Berlin%2C+Heidelberg.&oq=Wittmann%2C+G.+\(1981\).+Toxic+metals.+In+Metal+pollution+in+the+aquatic+environment+\(pp.+](https://www.google.com.pe/search?q=Wittmann%2C+G.+(1981).+Toxic+metals.+In+Metal+pollution+in+the+aquatic+environment+(pp.+3-70).+Springer%2C+Berlin%2C+Heidelberg.&oq=Wittmann%2C+G.+(1981).+Toxic+metals.+In+Metal+pollution+in+the+aquatic+environment+(pp.+)
- Yamangata, , N., & Shigematsu, I. (1970). Cadmium pollution in perspective. *Bull.Inst.publ. Hlth, Tokio*, 19(1), 1-27. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19712701947>



## **ANEXOS**



## Anexo 2: **MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>Problema principal</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
¿Cuáles son los niveles de metales pesados en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao ,Sepahua y Ucayali durante el periodo de 2003 al 2015?	Describir el nivel de metales pesados en aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao ,Sepahua y Ucayali durante el periodo de 2003 al 2015	nivel de metales pesados de las aguas superficiales de las cuencas de los ríos Abujao ,Sepahua y Ucayali	Año de muestreo	<b>Tipo de Investigación :</b> investigación sustantiva descriptiva
			Mes de muestreo	
			Cuenca de vigilancia y monitoreo	<b>Nivel de Investigación:</b> descriptiva retrospectiva
			Punto de muestreo	<b>Diseño de Investigación:</b> Transeccional, descriptivo
			Tipos de metales encontrados	<b>Técnica de recolección de datos:</b> Observación y revisión documental
			Limites máximo permisibles	<b>Instrumento de recolección de datos:</b> Formato de registro
			Limites máximo permisibles	<b>Procesamiento y análisis de datos:</b> Programa estadístico SPSS, estadística descriptiva básica