



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**

**Facultad De Ingeniería Química Y Metalúrgica**

**Escuela Profesional de Ingeniería Química**

**Evaluación del contenido de metales pesados en el agua superficial de  
desembocadura del río Chancay, Huaral, año 2021**

**Tesis**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

**Autor**

Britany Sorel Calero Huaman

**Asesor**

Mtro. Jhon Herbert Obispo Gavino

**Huacho – Perú**

**2023**

# EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DE DESEMBOCADURA DEL RIO CHANCAY, HUARAL, AÑO 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	8%
2	<a href="http://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	1%
4	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://ingenieria.ute.edu.ec">ingenieria.ute.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://repositorio.upn.edu.pe">repositorio.upn.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%

# **Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**

## **Facultad de ingeniería química y metalúrgica**

### **Escuela profesional de ingeniería química**

#### **Evaluación del contenido de metales pesados en el agua superficial de desembocadura del río Chancay, Huaral, año 2021**

**Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador**



**MÁXIMO TOMAS SALCEDO MEZA**

**Presidente**



**LUIS ROLANDO GONZALES TORRES**

**Secretario**



**JUAN GABRIEL MATIAS CASTILLO**

**Vocal**



**JHON HERBERT OBISPO GAVINO**

**Asesor**

**HUACHO – PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A mis familiares, en especial a mis padres Pilar Huaman Silvestre y Juan José Calero Rivera, y a mis hermanos Juan Marcos Calero Huaman.

*Britany Sorel Calero Huaman*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser mi guía.

A la UNJFSC que me formó.

A mis docentes por sus enseñanzas, a mi asesor por haber compartido sus experiencias en la culminación del trabajo y a todos aquellos que de alguna manera han contribuido con la culminación del estudio.

*Britany Sorel Calero Huaman*

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos de la investigación	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Delimitaciones del estudio	6
CAPITULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes de la investigación	9
2.1.1 Investigaciones internacionales	9

2.1.2	Investigaciones nacionales	11
2.2	Bases teóricas	13
2.2.1	Metales pesados	13
2.2.1.1	Elementos químicos y su toxicidad	14
2.2.2	Monitoreo del agua superficial	21
2.2.2.1	Recursos humanos	21
2.2.2.2	Recursos económicos	21
2.2.2.3	Tipo de muestra de agua	21
2.2.2.4	Planificación del monitoreo	22
2.2.2.5	Codificación del punto de muestreo	22
2.2.3	Normas legales para la evaluación	24
2.2.3.1	Estándares de Calidad Ambiental para agua del MINAM	24
2.2.3.2	Valores de referencia para agua de consumo humano de la OMS	24
2.3	Bases filosóficas	25
2.4	Definición de términos básicos	26
2.5	Hipótesis de investigación	27
2.5.1	Hipótesis general	27
2.5.2	Hipótesis específicas	27
2.6	Operacionalización de las variables	27
CAPITULO III		29
METODOLOGÍA		29
3.1	Diseño metodológico	29
3.1.1	Tipo de investigación	29
3.1.2	Nivel de investigación	30
3.1.3	Diseño	31

3.1.4	Enfoque	31
3.2	Población y muestra	32
3.2.1	Población	32
3.2.2	Muestra	33
3.3	Técnicas de recolección de datos	33
3.3.1	Técnicas a emplear	33
3.3.2	Descripción de los instrumentos	33
3.3.3	Procedimiento	34
3.4	Técnicas para el procesamiento de la información	41
CAPITULO IV		43
RESULTADOS		43
4.1	Análisis de resultados	43
4.1.1	Análisis del contenido de metales pesados	43
4.1.2	Evaluación con la norma nacional	45
4.1.3	Evaluación con la norma internacional	48
4.2	Contrastación de hipótesis	51
4.2.1	Detección de metales pesados	54
4.2.2	Comparación con el ECA del MINAM	54
4.2.3	Comparación con el VR de la OMS	57
CAPITULO V		60
DISCUSIÓN		60
5.1	Discusión de resultados	60
CAPITULO VI		64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64
6.1	Conclusiones	64



6.2	Recomendaciones	64
	CAPITULO VII	66
	REFERENCIAS	66
7.1	Fuentes documentales	66
7.2	Fuentes bibliográficas	68
7.3	Fuentes hemerográficas	69
7.4	Fuentes electrónicas	69
	ANEXOS	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Coordenadas UTM de los puntos de monitoreo</i> .....	7
Tabla 2 <i>ECA para recreación de contacto primario del MINAM</i> .....	24
Tabla 3 <i>Valor de referencia de la OMS</i> .....	25
Tabla 4 <i>Operacionalización de variables</i> .....	28
Tabla 5 <i>Reactivo y tiempo de preservación de las muestras para su envío a laboratorio</i> ..	35
Tabla 6 <i>Configuración del equipo ICP-OES Spectro Arcos</i> .....	36
Tabla 7 <i>Longitud de onda elementos químicos</i> .....	37
Tabla 8 <i>Datos curva de calibración</i> .....	38
Tabla 9 <i>Datos de verificación</i> .....	40
Tabla 10 <i>Contenido de metales en las muestras analizadas</i> .....	43
Tabla 11 <i>Comparación de los análisis respecto al ECA de aguas superficial para recreación</i> ..	45
Tabla 12 <i>Porcentaje de los análisis mínimos y máximos sobre el ECA del MINAM</i> .....	45
Tabla 13 <i>Comparación de los análisis respecto al VR de la OMS</i> .....	48
Tabla 14 <i>Porcentaje de los análisis mínimos y máximos sobre el VR de la OMS</i> .....	50
Tabla 15 <i>Análisis de la normalidad del contenido de metales evaluados</i> .....	52
Tabla 16 <i>Pruebas t de Student para muestra única respecto al ECA</i> .....	55
Tabla 17 <i>Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra respecto al ECA</i> .....	56
Tabla 18 <i>Pruebas t de Student para una muestra respecto al VR de la OMS</i> .....	57
Tabla 19 <i>Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra respecto al VR de la OMS</i> ..	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Puntos de monitoreo cercana a la desembocadura del río Chancay.....	7
<i>Figura 2.</i> Características de los tipos de muestras de agua. ....	22
<i>Figura 3.</i> Actividades a considerar en la planificación de monitoreos. ....	23
<i>Figura 4.</i> Detalle para la codificación de un punto de muestreo para el ANA. ....	23
<i>Figura 5.</i> Fluctuación anual del caudal del río Chancay de Huaral .....	32
<i>Figura 6.</i> Normas consideradas para los análisis. ....	41
<i>Figura 7.</i> Variaciones de contenido entre los puntos de monitoreo.....	44
<i>Figura 8.</i> Comparación del contenido considerando al ECA del MINAM.....	46
<i>Figura 9.</i> Porcentaje del contenido mínimo y máximo de metales pesados respecto al ECA....	47
<i>Figura 10.</i> Comparación del contenido considerando el VR de la OMS.....	49
<i>Figura 11.</i> Porcentaje del contenido mínimo y máximo de metales pesados respecto al VR. ...	50
<i>Figura 12.</i> Diagrama caja y bigotes del contenido de metales evaluados.....	53
<i>Figura 13.</i> Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra para Cadmio con mediana hipotética 0,010 mg/L. ....	56
<i>Figura 14.</i> Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra para Cadmio con mediana hipotética 0,003 mg/L. ....	58
<i>Figura 15.</i> Muestreo, rotulación y ubicación muestra M1. ....	74
<i>Figura 16.</i> Muestreo, rotulación y ubicación muestra M2. ....	75
<i>Figura 17.</i> Muestreo, rotulación y ubicación muestra M3. ....	76
<i>Figura 18.</i> Muestreo, rotulación y ubicación muestra M4. ....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	73
Anexo 2. Recolección de muestras.....	74
Anexo 3. Equipos y materiales utilizados por el consultor .....	78
Anexo 4. Informe de ensayo.....	80

**EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL AGUA  
SUPERFICIAL DE DESEMBOCADURA DEL RIO CHANCAY, HUARAL, AÑO 2021**

**RESUMEN**

**Objetivo:** Realizar la evaluación del contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial cercanas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en 2021. **Métodos:** Estudio de diseño no experimental descriptivo transversal, evaluándose la presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo de acuerdo a la categoría 1 del DS N°004-2017-MINAM del Perú y el Valor de Referencia (VR) de riesgo potencial a la salud considerada por la OMS, realizándose el muestreo de acuerdo al protocolo de muestreo de aguas superficiales de la Autoridad Nacional del Agua y remitiéndose las muestras para su análisis de laboratorio. Se utilizó el estadístico t de Student y la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra a 95 % de nivel de confianza. **Resultados:** Se obtuvo variaciones en mg/L para el contenido de Aluminio 0,018 a 0,025, Arsénico 0,002 a 0,047, Cadmio 0,005 a 0,007, Cromo 0,020 a 0,032, Níquel 0,001 a 0,008 y Plomo 0,023 a 0,051. **Conclusiones:** Se detectaron la presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo; donde en las muestras evaluadas todos estos metales a excepción del Plomo cumplen con el ECA destinadas para recreación del MINAM y el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS, en las aguas superficiales próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en 2021.

**Palabras clave:** Metales pesados, desembocadura, río Chancay.

**EVALUATION OF THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SURFACE WATER  
OF THE MOUTH OF THE CHANCAY RIVER, HUARAL, YEAR 2021**

**ABSTRACT**

**Objective:** To carry out the evaluation of the content of Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Nickel and Lead in surface water near the mouth of the Chancay river in the province of Huaral in 2021. **Methods:** Cross-sectional descriptive non-experimental design study, evaluating the presence of Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Nickel and Lead according to category 1 of DS N°004-2017-MINAM of Peru and the Reference Value (VR) of potential risk to health considered by the WHO, being carried out Sampling according to the surface water sampling protocol of the National Water Authority and sending the samples for laboratory analysis. The Student's t statistic and the Wilcoxon signed rank test were used for a sample at a 95% confidence level. **Results:** Variations in mg/L were obtained for the content of Aluminum 0.018 to 0.025, Arsenic 0.002 to 0.047, Cadmium 0.005 to 0.007, Chromium 0.020 to 0.032, Nickel 0.001 to 0.008 and Lead 0.023 to 0.051. **Conclusions:** The presence of Aluminum, Arsenic, Cadmium, Chromium, Nickel and Lead were detected; where in the samples evaluated all these metals except Lead comply with the ECA intended for recreation of MINAM and the VR of potential risk to health of the WHO, in surface waters near the mouth of the Chancay river in the province of Huaral in 2021.

**Keywords:** Heavy metals, mouth, river Chancay.

## INTRODUCCIÓN

El estudio consistió en la evaluación de seis metales pesados importantes por sus efectos en la salud humana, presentes en el agua superficial cercanas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en el mes de julio en 2021, estudio realizado en cuatro puntos de monitoreo que concurren los pobladores cercanos a realizar actividades recreativas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), considera el uso recreativo del agua puede ser beneficioso para el bienestar y la salud, desde niños que juegan en un río hasta familias que se relajan en la playa, desde personas que practican deportes acuáticos hasta la observación de la naturaleza junto al agua, todas las formas y tamaños de cuerpos, ya sean océanos, lagos o ríos, pueden elevar el espíritu, siendo las fuentes de agua limpias y bien administrados también son un punto focal para las comunidades y un atractivo económico para los eventos turísticos y deportivos.

La República (2015), según Arturo Alfaro de la ONG Vida, tras inspeccionar varias playas del Perú, entre ellas la del distrito de Chancay Ancón, Lurín, Ventanilla, Santa Rosa, y otros, afirmó que el vertido de residuos sólidos a los ríos en el Perú desembocan en el mar, ocasionando el 80 % de la contaminación de las playas del litoral, siendo la descarga de camiones de desmonte de construcción otra causa de contaminación de residuos en las playas. Asimismo, Greenpeace (2005) manifiesta que la contaminación marina en un 80 % es proveniente de la tierra y el restante 20 % a consecuencia del vertido directamente al mar, situación que tiende a crecer por el aumento de generación de más basura, arriesgando la salud de los bañistas, que involuntariamente ingieren agua en las actividades recreativas.

Si bien es cierto, la zona de estudio evaluada no está oficialmente destinada a actividades recreativas, en la práctica concurren un gran número de personas de lugares aledaños, para ejercer actividades recreativas. Considerando ello, se evaluó seis metales pesados de importancia, que de encontrarse fuera de los límites son muy perjudiciales para nuestra salud.

Por el efecto que tiene estos metales hacia nuestra salud, la disposición del Ministerio del Ambiente mediante con D.S. N° 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua destinadas para uso recreativo, como la natación. También, se ha dispuesto Valores de Referencia (VR) por la OMS de riesgo potencial de sustancias a la salud por su toxicidad en animales.

Según, el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI, 2015), el río Chancay-Huaral, presenta épocas de estiaje, con bajos caudales en el río en meses que van de junio hasta agosto, Realizándose por ello el estudio a mediados del mes de Julio del 2021, a efectos de evidenciar un mayor grado de concentración a bajas diluciones por la presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo. Planteándose como objetivo, el de evaluar el contenido de estos metales con el ECA del MINAM para aguas superficiales destinadas para recreación (B1 para contacto directo) y el VR de la OMS de riesgo potencial a la salud, en aguas superficiales cercanas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en 2021.



# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

Según la OMS (2021), la actividad humana y los cambio en el clima están afectando la calidad y la seguridad de nuestras vías fluviales, los lugares populares para nadar pueden contaminarse por desbordamientos de aguas residuales no tratados, la escorrentía de excrementos de animales de granjas cercanas o la proliferación de algas provocada por altas cargas de nutrientes, algunos sitios también pueden verse afectados por la contaminación química de las actividades industriales o ser contaminados por los propios usuarios de la playa a través de un saneamiento y basura deficientes, esta contaminación erosiona los beneficios para el bienestar y el potencial económico del sitio, además de causar potencialmente enfermedades a los usuarios del agua.

Salas-Mercado, Hermoza-Gutiérrez y Salas-Ávila (2020), consideran que los malos manejos y disposición de residuos de las actividades urbanas e industriales, ocasiona un grave problema a nivel mundial, siendo de interés la acumulación en cuerpos de agua dulce de los metales pesados, por el peligro potencial que representan y su alta toxicidad a los componentes de la cadena trófica. Además, Londoño-Franco, Londoño-Muñoz y Muñoz-García (2016) consideran que el uso de agroquímicos, fertilizantes, insecticidas generan contaminantes que perjudican nuestro medio ambiente, como As, Pb, Cd, Cr y Cu, que pueden contaminar directamente el agua, suelos, plantas y animales, ocasionando el aumento del riesgo hacia las personas, animales y la cadena trófica.

Si bien, mayormente lo que origina la contaminación en zonas costeras es de origen local, en algunos casos son transnacionales, al sobrepasar las fronteras entre varios países, siendo de interés por tanto, en un país, países, y a la cuenca marina y fluvial en forma global, aunque por lo general es local para el caso de tratarse de una contaminación por metales pesados, siendo el Hg, Pb y Cd los elementos más peligrosos (GESAMP, 2001, 1990, como se citó en Escobar, 2002).

Asimismo, los agentes físicos y químicos que se hallan presente en el aire y suelo pasan al agua como último receptor, así como por las descargas directas de desechos producto de las actividades mineras, por lo que la industria extractiva afecta a las corrientes de agua y las zonas de desembocadura de las aguas terrestres con el mar, precisando, que no siempre todos los efectos son originados por el hombre, también ocasionada por la hidráulica de las corrientes de agua que arrastra naturalmente sedimentos y lixiviado de iones metálicos, concurriendo en el agua sedimentos inertes y muy estables químicamente de una variedad de tamaños de grano, desde limo a arenisca fina, por acción del viento y que se van depositando por gravedad, incluyendo los metales pesados, mercurio, entre otros (Escobar, 2002).

En el Perú, se tiene cerca de 52 cuencas hidrográficas, en las que se ven comprometidas con la contaminación a consecuencia de desechos municipales e industriales en las áreas costeras, resaltando ríos contaminados como el río Rímac, Tumbes, entre otros, afectando los sectores de la costa y bahías donde desembocan (Escobar, 2002). Además, Villena (2018) indica que en el Perú la proliferación de elementos metálicos en el medio ambiente, puede deberse naturalmente por la mineralogía del terreno y artificialmente por la disposición de las actividades minero metalúrgicas, tal es así que prevalece contaminantes de Cadmio en el norte, Plomo en el centro y Arsénico en el Sur de nuestro país, condiciones que afecta el manejo y tratamiento del agua potable.

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016a), considera un serio problema a los metales pesados, que pueden llegar hasta el hombre, generando bioacumulación y biomagnificación, a través de mecanismos que pasan por la cadena trófica, como la vía acuática y la vía terrestre que al ingerirse llegan por ambas vías al hombre.

Sobre el Río Chancay, los autores Rivera, Chira, Chacón y Campian (2010) indican que desemboca a 6 km aproximadamente al sur del distrito de Chancay, cuya naciente se origina en la cordillera de los andes y desde ahí recibe diferentes nombres: Río Ragrampi, Acos y Chancay por su paso en el distrito de Chancay.

Las aguas próximas a la desembocadura del río Chancay, es concurrida por bañistas de diferentes edades, que realizan actividades recreativas en el río y que corren el riesgo de contaminarse y afectar gravemente su salud a consecuencia de los contaminantes que pudieran encontrarse en el agua, y más por los contaminantes químicos como los metales pesados.

Considerando las afirmaciones de la OMS (2021), donde señala que para que los entornos junto al agua sean seguros y divertidos para todos los usuarios, ahora y en el futuro, estos riesgos para la salud deben evaluarse y gestionarse cuidadosamente. En tal sentido, se realizó la evaluación de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próxima a la desembocadura al océano pacífico del río Chancay, provincia de Huaral, en 2021; respecto al ECA de aguas superficiales para recreación dispuesta por el MINAM y el VR de riesgo potencial, referenciales por su toxicidad a nuestra salud de la OMS.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Qué metales pesados entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo se consideran contaminantes en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Qué metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo son detectados en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?
- ¿Cuáles de los metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo incumplen el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?
- ¿Qué metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo incumplen el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Realizar la evaluación del contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar el análisis de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.
- Comparar respecto al ECA de aguas superficiales destinadas para recreación del MINAM el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próxima a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.
- Comparar respecto al VR de riesgo potencial a la salud de la OMS el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

### **1.4 Justificación de la investigación**

#### **a) Relevancia y pertinencia**

Considerando a Polo y Sulca (2019), la contaminación causada por los metales pesados representa una problemática que afronta toda la humanidad, de importancia a nivel global, por su toxicidad y que puede comprometer el alimento, así como la salud a nivel mundial. Además, sobre la seguridad, Greenpeace (2005) indica que los bañistas ponen en riesgo su salud al ingerir involuntaria agua en sus actividades recreativas. Representando un mayor riesgo en las zonas de desembocadura del río Chancay, que lleva consigo, contaminantes tanto físicos, químicos y microbiológicos producto de la descarga de contaminantes en todo su trayecto, por las diferentes empresas, comunidades, localidades, actividades agrícolas, entre otros. Y es aquí, donde conceptos como la bioacumulación cobran importancia por la acumulación que se da en nuestro organismo y por otro lado la

biomagnificación tras el incremento de estos metales a lo largo de toda la cadena trófica, que puede llegar finalmente a nuestro organismo como consumidor final, contaminándonos.

#### **b) Pertinencia**

Al considerarse los elementos que se evaluaron de riesgo a la salud humana y con el tiempo puede deteriorar nuestra calidad de vida, el estudio pertinente considerando su alineación en primer lugar al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 3: Salud y bienestar y en segundo lugar al ODS 6: Agua limpia y saneamiento.

#### **c) Impacto**

El estudio, principalmente está orientado en informar, en primer lugar para que los concurrentes bañistas a esta parte del río Chancay conozcan de los potenciales peligros de los metales evaluados en el agua superficial, posibilitando que se informen de los riesgos hacia su salud; en segundo lugar, para que los pescadores artesanales puedan conocer la calidad del agua en metales pesados que está llegando al mar y que pueden bioacumularse en los peces de captura y especies de la cadena trófica de consumo para el hombre, pudiendo afectar la salud de los consumidores de localidades cercanas.

### **1.5 Delimitaciones del estudio**

#### **a) Delimitación espacial**

##### ***Ubicación política***

El punto de monitoreo próximas a la desembocadura del río Chancay, se ubica en:

- Distrito de Chancay.
- Provincia de Huaral.
- Departamento de Lima.

### *Ubicación geográfica*

Si bien se establece en las reglamentaciones que los puntos de monitoreo se localizan en coordenadas UTM, a efectos comparativos se presenta su equivalencia en coordenadas geográficas (la Tabla 1).

Tabla 1

*Coordenadas UTM de los puntos de monitoreo*

Muestra	Coordenadas	
	Geográficas	UTM
M1	-11.608628, -77.242206 11°36'31.1"S 77°14'31.9"W	8715760 0255511
M2	-11.609312, -77.242547 11°36'33.5"S 77°14'33.2"W	8715684 0255475
M3	-11.609412, -77.243841 11°36'33.9"S 77°14'37.8"W	8715672 0255334
M4	-11.610063, -77.244693 11°36'36.2"S 77°14'40.9"W	8715599 0255241



*Figura 1.* Puntos de monitoreo cercana a la desembocadura del río Chancay.

Nota. Adaptado de imagen de Google Maps (2022).

### **b) Delimitación temporal**

- Se realizó en un solo día, el 15 de julio 2021.

### **c) Delimitación teórica**

El estudio se limitó sólo a estudiar seis metales: Plomo, Níquel, Cromo, Cadmio, Arsénico y Aluminio, recopilando información sobre su origen, mecanismos de introducción al medio ambiente y lo que ocasiona a nuestra salud.

Para el muestreo, se consideró la metodología del ANA (2016), de monitoreo de calidad de agua de río, contemplando sus disposiciones y los recursos necesarios.

Para la evaluación, se consideró la norma legal nacional indicada en el D.S. N° 004-2017-MINAM, del ECA para agua superficial categoría 1, subcategoría B, B1, destinadas para recreación y el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS.



## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Investigaciones internacionales**

Patiño y Camilo (2020), de la Universidad Santo Tomás, Colombia, en su estudio se plantearon como objetivo estudiar tres metales, entre ellos Plomo y Cromo en el río Ocoa de Colombia, obteniendo seis muestras integradas para los periodos de estiaje y avenida. Reportando variaciones en el contenido en mg/L de las muestras: en la temporada de estiaje para Plomo desde 0,15 a 0,46 y para Cromo de 0,06 a 0,13; y en la temporada de avenida para Plomo de 0,39 a 1,17 y para Cromo de 0,41 a 1,64. Concluye que estas concentraciones incumplen la normativa colombiana y también la normativa de la OMS que consideran como Límites Máximos Permisibles (LMP) para Cromo y Plomo (0,05 y 0,01 mg/L respectivamente).

Babativa y Caicedo (2018), de la Universidad Santo Tomás, Colombia, evaluaron la presencia de Cromo, Níquel y Plomo en río Ocoa ubicada en Colombia, tanto en períodos de estiaje y avenida, en siete estaciones de monitoreo, con dos mediciones en cada estación. Reporta en unidades de mg/L en el período de estiaje: para Cromo todos de 0,0055, para Níquel todos 0,0055 y para Plomo desde 0,0055 hasta 0,0230, y en el período de avenida: variaciones de Cromo desde 0,0055 hasta 0,0630, para Níquel desde 0,0055 hasta 0,019, para Plomo desde 0,0055 hasta 0,0490. Concluye, en general, según sus análisis que se cumple parcialmente la normativa colombiana y de la OMS.

Yagual (2018), de la Universidad de Guayaquil, Ecuador, realizó en el río Vinces de Ecuador una evaluación de Plomo y Cromo, respecto a su norma nacional e internacional. Evaluando tres puntos de monitoreo a razón de 500 metros entre ellas, analizando el agua y sedimentos por triplicado. Para todos los análisis, reporta contenidos inferiores a la detección del equipo para Plomo 0,0008 y Cromo (VI) 0,001 mg/L. Concluye por tanto, que todos los análisis reportados, no superaban los límites de su norma nacional e internacional, sosteniendo que estos metales no ocasionan contaminación en la zona.

Morales (2018), de la Universidad De San Carlos De Guatemala, en su estudio realizado en el río Guastatoya de Guatemala, determinó la presencia de As, Pb, Cr, Cd en 22 puntos de monitoreo en épocas de estiaje y avenida, evaluando su contenido. Reporta en mg/L las variaciones en el contenido en época de estiaje de Arsénico desde 0,001 a 0,005, de Cadmio desde < 0,0003 a 0,003, de Cromo desde < 0,0005 a 0,003 y Plomo desde < 0,0007 a 0,012; y para la época de avenida variaciones en el contenido de Arsénico desde <0,0004 a 0,003, de Cadmio desde <0,0003 a 0,002, de Cromo desde <0,0005 a 0,002 y Plomo desde <0,0007 a 0,004. Concluye, que el contenido de estos metales en las épocas de estiaje es mayor que en las épocas de avenida, indicando que en las épocas de avenida se cumple la normativa y sólo en la época de estiajes el contenido de Plomo y Cadmio incumple la norma, considerándola no apta para su consumo.

Morales y Rojas (2018), de la Universidad Santo Tomás, Colombia, entre sus objetivos evaluó el Arsénico y Cadmio en un sector del río Ocoa en Colombia. Analizó estos metales en dos oportunidades, en ocho estaciones de monitoreo. Reporta para la época de estiaje, variaciones en el contenido de Arsénico en la primea muestra desde 0,051 hasta 0,108 mg/L y la segunda desde 0,111 hasta 0,126 mg/L. Reporta para la época de avenida, variaciones en el contenido de Arsénico para la primera muestra desde 0,002 hasta 0,012

mg/L y la segunda desde <0,001 hasta 0,002 mg/L, y variaciones de Cadmio en la primera muestra desde <0,002 hasta 0,005 mg/L y la segunda desde <0,002 hasta 0,003 mg/L. Llegaron a concluir que el Arsénico es mayor en épocas de estiaje, excediendo su normativa nacional e internacional; caso contrario sucede con el contenido de Cadmio, que obtuvo mayores concentraciones en la época de avenida, excediendo su normativa nacional.

### **2.1.2 Investigaciones nacionales**

Salas-Mercado et al. (2020), Revista Boliviana De Química, Bolivia, en su artículo analizaron el contenido de tres metales, entre ellos el Arsénico y Cadmio en el agua superficial del río Crucero de Puno. Estudio realizado en cinco estaciones de monitoreo, reportando ausencia de Arsénico y variaciones para Cadmio desde 0,00011 a 0,00429 mg/L. Concluye que en el agua superficial del río Crucero, el contenido de Cadmio y más el de Arsénico que no fue detectado, no superan el ECA nacional, ni los estándares internacionales. Por otro lado, si evidencia la contaminación en los sedimentos con Arsénico, Cadmio y Zinc, respecto a la norma nacional e internacional.

Tirado y Valverde (2019), de la Universidad Privada del Norte, entre sus objetivos determinaron el contenido de nueve metales, entre ellos al As, Pb, Cd, Ni, Mn y Cr en épocas de estiaje y avenida del río Chimín en Cajamarca entre 2018 y 2019, evaluándolo con el DS 004-2017-MINAM. Reporta de 4 puntos de monitoreo en mg/L, en época de estiaje julio y setiembre del 2018, contenidos para Arsénico de 0,0065, Cadmio 0,0027, Cromo 0,0056, Níquel 0,005, Plomo 0,0047 y variaciones en el contenido de Manganeseo desde 1,259 a 8,561 (promedio 5,144 mg/L); y reporta para época de avenida en diciembre 2018 y marzo del 2019, contenidos en mg/L para Arsénico 0,0065, Cadmio 0,0027, Cromo 0,0056, Níquel 0,005, Plomo 0,0047 y para el Manganeseo variaciones de 1,304 a 8,566 (promedio 5,154

mg/L). Entre sus conclusiones, considera al Manganeso, como el metal pesado que incumple el ECA categoría 3 en las subcategorías D1 y D2 del DS 004-2017-MINAM.

Cristobal (2018), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, cuantificó y evaluó cinco metales en tres puntos de monitoreo del río Chalhuanca, entre ellos el Cadmio, Cromo y Plomo, comparándola con el ECA del MINAM categoría 3. Monitoreos mensuales por 9 meses, reportando variaciones en mg/L para Cadmio en los tres puntos de  $< 0,00005$  a  $< 0,0004$ , para el Cromo variaciones en el punto 1:  $< 0,0004$  a  $0,0009$ , punto 2: todos  $< 0,0004$  y punto 3:  $< 0,0003$  a  $0,0004$ , para Plomo variaciones en el punto 1:  $< 0,00004$  a  $0,0082$ , punto 2:  $0,00006$  a  $0,0064$  y punto 3:  $< 0,0004$  a  $0,0087$ . Concluye que todos los metales cumplían el ECA del MINAM.

Pinto (2018), de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, evaluó el contenido de seis metales, entre ellos al Arsénico, Plomo, Cadmio y Cromo en el agua superficial de los ríos Vizcachas y Chilota, en Moquegua. Evaluaron, comparándola con el ECA categoría 3 del MINAM, estudiando dos puntos de monitoreo en febrero, marzo y abril. Reporta variaciones en mg/L, para el contenido de Arsénico en el río Vizcachas de  $0,00346$  a  $0,00695$  y en el río Chilota de  $0,08402$  a  $0,16089$ , para Cadmio en el río Vizcachas  $0,00005$  a  $0,00011$  y en el río Chilota  $0,00005$ , para Cromo en el río Vizcachas  $0,0003$  y en el río Chilota  $0,0003$  a  $0,0014$ , y para Plomo en el río Vizcachas  $0,00022$  a  $0,00058$  y en el río Chilota  $0,00017$  a  $0,00152$ . Concluye que estos metales, no superaron el ECA para categoría 3.

Capacoila (2017), Universidad Nacional del Altiplano, avaluó la presencia y concentraciones de seis metales pesados, entre ellos al Aluminio, Cadmio, Cromo y Manganeso en cinco puntos de monitoreo del río Coata hasta desembocar en el lago Titicaca en Puno. Reporta, para el punto de la desembocadura, en marzo 2017 en época de avenida, concentraciones en el agua superficial en mg/L para Cromo  $0$ , Cadmio  $0$ , Manganeso  $0,08$  y

Aluminio 1,043. Además, reporta para junio 2017 en época de estiaje, concentraciones en mg/L para Cromo 0, Cadmio 0, Manganeso 0 y Aluminio 0,017. Concluye, que las concentraciones de los metales evaluados de Aluminio y Manganeso no cumplen con los ECA del MINAM.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Metales pesados**

Influyen en la calidad del agua, y provienen de alrededores de sectores industriales y mineros, que en muchos casos pueden llegar a ser significativos dependiendo de la cantidad de mineral procesado, los equipos utilizados, el tamaño de la planta y la disposición de sus relaves, afectando la calidad de agua, aire y suelo; también por las descargas de asentamientos humanos y hasta de actividades militares, estos metales se unen químicamente a los sedimentos del fondo de las columnas de agua, acumulándose y liberándose posteriormente, generando una mayor toxicidad y una mayor probabilidad y rapidez para ser ingeridos por los organismos marinos (Escobar, 2002)

La contaminación que origina en el agua comprometen el acceso a alimentos en cantidad suficiente, segura y nutritiva, y a la vez la salud en el mundo, como Pb, Hg, As y Cd que se van bioacumulando en el cuerpo humano, superando los LMP establecidos, ingresando al cuerpo humano por contacto, consumo e inhalación, encontrándose metales pesados cada vez más en aguas contaminadas a raíz de las actividades del hombre y también proveniente naturalmente; estos al ingresar en el cuerpo humano, afectan los órganos vitales y modifican la estructura del ADN, alteraciones que producen diferentes tipos de cáncer, producto de la experimentación en animales y hallazgos en humanos, evidenciándose que los individuos expuestos a residuos peligrosos como Pb, Cd y As, presentan una alta prevalencia de intoxicación en sitios contaminados con desechos metalúrgicos, aguas residuales y esorrentía agrícola (Polo & Sulca, 2019).

Sobre los metales pesados, el MINAM (2016a), sostienen que son aquellos con elevada toxicidad y densidad, pudiendo ingresar al ingerirse alimentos, agua, aire y otros agentes; primando su ingreso en la comida, por las bebidas, al inhalarse y por contacto con la piel, y que al no degradarse están muy asociados a la bioacumulación y la biomagnificación en el cuerpo receptor, pudiendo producir intoxicaciones agudas al estar expuesto a altas concentraciones y crónicas si se expone a concentraciones bajas pero periodos recurrentes.

### **2.2.1.1 Elementos químicos y su toxicidad**

#### **a) Aluminio**

##### **Fuente**

El Aluminio, para la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), se encuentra en un 8 % aprox. en la corteza terrestre, en el agua pueden provenir naturalmente o añadidas como coagulantes en los procesos de potabilización. Asimismo, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR, 2008) muestra que este metal ocurre naturalmente en el agua, suelo y aire, y que además la actividad minera lo libera desde sus minerales, y empresas productoras de aluminio metálico y otros productos que contienen este elemento, pueden liberar elevadas cantidades de este metal en el ambiente, detectándose a la vez pequeñas cantidades liberadas al ambiente en plantas de energía de quema de carbón e incineradores; los compuestos de aluminio en su mayoría no son muy solubles en el agua, solubles en medios ácidos o muy alcalinos. También, el aluminio es utilizado en cosméticos, como aditivos en alimentos y en productos de cocina (Polo & Sulca, 2019).

## **Toxicidad**

Según la ATSDR (2008) la ingesta de aluminio generalmente no causa daño. Habiendo discrepancias en varios estudios que afirman que tras una exposición a altas cantidades de aluminio causa el Alzheimer, no sabiéndose con certeza; por otro lado, personas con insuficiencia renal presentan una mayor acumulación de aluminio, impidiendo su eliminación, propiciando el desarrollo de enfermedades de los huesos o del cerebro en personas con este padecimiento, aunque su ingesta recomendada en medicamentos no son catalogadas como peligrosas si se evita su uso prolongado. También, Faridah et al.(2018, como se citó en Polo y Sulca, 2019) indican que pueden ocasionar daños al sistema nervioso central, sistema digestivo y riñones.

## **Valor de referencia**

La OMS (2018) indica que al usarse el Aluminio como coagulante en plantas potabilizadoras, en dosis que van desde 0,1 a 0,2 mg/L y considerando a 0,9 mg/L como provisional de ingesta tolerable semanalmente, el cual es muy superior, no habiendo razones para un VR para el aluminio.

## **b) Arsénico**

### **Fuente**

Según OMS (2018), el arsénico se le halla muy difundido en la corteza terrestre, comúnmente formando compuestos, encontrándose generalmente en un estado de oxidación +5, aunque en condiciones anaeróbicas se encuentra en +3, en aguas naturales se suele presentar entre 1 a 2  $\mu\text{g/L}$ , llegando en el agua subterránea a 12 mg/L con los sulfuros y depósitos sedimentarios. También, ATSDR (2006), indica que se halla abundantemente distribuido en la

corteza terrestre, naturalmente en el suelo y minerales, aunque siendo un metaloide químicamente, frecuentemente se le indica como metal; se le encuentra combinado como arsénico inorgánico, estos en su mayoría y los arsénicos orgánicos no huelen y no presentan ningún sabor en particular, se desplaza en el ambiente por la acción del viento, filtración por el suelo, combustión del carbón, residuos emitidos hacia la atmosfera y descargas industriales. Además, al Arsénico se le considera como la más nociva para el hombre y los animales; tal es así que el ganado tolera como máximo 50 mg de tipo inorgánico por kg y 100 mg del tipo orgánico por kg (Faridah et al., 2016 como se citó en Polo y Sulca, 2019).

### **Toxicidad**

Según la OMS (2018), para el ser humano el más tóxico lo constituye los compuestos de arsina; sus compuestos inorgánicos, de acuerdo al Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) lo clasifica como cancerígeno en el Grupo 1. También, ATSDR (2006), muestra los efectos de sus diferentes concentraciones en el ser humano, indicando que es fatal a dosis altas de 60,000 ppb, irrita el estómago e intestinos entre 300 y 30,000 ppb; el Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) reconocen al inorgánico como sustancia carcinogénica. Asimismo, Faridah et al.(2016, como se citó en Polo y Sulca, 2019), indica que el ser humano se intoxica por inhalación o ingestión del  $As_2O_3$  presentando fuertes desórdenes gastrointestinales, calambres, y colapso circulatorio como síntomas.

### **Valor de referencia**

Según OMS (2018) el VR provisional para el arsénico es de 0,01 mg/L en vista que esta es inferior a lo que se puede alcanzar por métodos prácticos de potabilización del agua.



### **c) Cadmio**

#### **Fuente**

De acuerdo a la ATSDR (2012a), se le haya naturalmente y mineralizada formando óxidos, cloruros, sulfatos y sulfuros de cadmio en la corteza terrestre. hallándose en los suelos y rocas naturalmente, incorporándose al ambiente con los fertilizantes, baterías, plásticos, pilas y otros (Polo & Sulca, 2019). A la vez, según la OMS (2018) se usa en la industria del acero y plásticos, pilas y otros productos.

#### **Toxicidad**

Para la OMS (2018) afecta principalmente a los riñones, con vida media de entre 10 a 35 años; al metal y sus compuestos, el CIIC lo considera como probable cancerígeno para humanos en el Grupo 2A. Además, ATSDR (2012a) indica que al ingerirse cadmio en altas dosis irrita al estómago, y que su inhalación ocasiona daños de gravedad en los pulmones, y a exposiciones bajas pero frecuentes generan su acumulación en los riñones, ocasionando insuficiencia renal y fragilidad de los huesos, siendo el metal y sus compuestos según el DHHS y el IARC son carcinogénicos, y según la EPA probablemente carcinogénico en el grupo B1. A una concentración crítica de 200 µg/g se produce un daño en la corteza renal, incrementándose la retención de este metal a una baja dieta en hierro (Polo & Sulca, 2019).

#### **Valor de referencia**

Según la OMS (2018) es muy común que su concentración en aguas potabilizadas este por debajo de 0,001 mg/L, en consecuencia se considera un VR de 0,003 mg/L.

#### **d) Cromo total**

##### **Fuente**

Según la OMS (2018) se le halla muy distribuido en la corteza terrestre. Además, para ATSDR (2012b) se encuentra en diferentes formas y estados de materia en los ecosistemas, siendo su uso más generalizado el cromo “0” en la fabricación del acero, el cromo +3 en el cromado, curtiembre de cuero y otros, en los peces su acumulación es mínima desde el agua.

##### **Toxicidad**

Para la OMS (2018) el Cromo +3 es un nutriente esencial suministrada en los alimentos, aunque el cromo +6 al ser inhalado se asocia al cáncer de pulmón, al ingerirse por vía oral a altas dosis produce carcinogenicidad y a bajas dosis se reduce a +3 en el sistema digestivo, clasificándose el cromo +6 según el CIIC como cancerígeno para el ser humano en el Grupo 1, aunque el cromo +3 no clasificable por su carcinogenicidad en el Grupo 3. También, ATSDR (2012b) indica que el cromo +3 es esencial ayudando en utilizar azúcar, proteína y grasa, y que según el DHHS, la EPA y la IARC el cromo +6 son carcinogénicos, exponiendo casos que su inhalación provocó cáncer de pulmón y su exposición aguas potabilizadas condujeron a tumores en el estómago. A la vez, el Cromo +6 produce irritaciones cutáneas (Polo & Sulca, 2019)

##### **Valor de referencia**

Según la OMS (2018) es habitual que las aguas potabilizadas contengan cromo total por debajo a 0,002 mg/L y como extremo llegar a 0,120 mg/L, ante la ausencia de datos toxicológicos fehacientes para cromo total, se considera un VR provisional de 0,05 mg/L.

## **e) Níquel**

### **Fuente**

Según ATSDR (2005) es un metal natural muy abundante en la naturaleza, usándose principalmente en el acero inoxidable, monedas, joyería, baterías y como catalizador en las reacciones químicas. A la vez, la OMS (2018) indica que es ampliamente utilizado en el acero inoxidable y en aleaciones.

### **Toxicidad**

Según la OMS (2018) se expone principalmente con la ingesta de los alimentos, presentándose comúnmente concentraciones en el agua por debajo de 0,02 mg/L, por lo que su ingesta no cobra importancia, aunque si se contamina por fuentes y materiales recubiertos con este metal, pueden incrementarse hasta 1 mg/L, que de acuerdo al CIIC sus compuestos al inhalarse son cancerígenos en el Grupo 1, y para el metálico posiblemente cancerígeno en el Grupo 2B. Asimismo, ATSDR (2005) expresa que al ingerirse altos contenidos provoca dolor en el estómago, y que la inhalación elevada de sus compuestos originó aumento de cáncer en los pulmones y los senos nasales; que de acuerdo al DHHS el metálico es carcinogénico y sus compuestos se les considera carcinogénicas, la IARC sostiene que el metálico es probable carcinogénico y también algunos de sus compuestos.

### **Valor de referencia**

La OMS (2018) considera para níquel un VR de 0,07 mg/L.

## **f) Plomo**

### **Fuente**

Para la OMS (2018), es muy utilizado en baterías, aleaciones, soldaduras, anticongelantes y en la gasolina con su uso cada vez menos frecuente en los países por la contaminación que provoca en el aire. Según ATSDR (2007) se le encuentra constituyendo compuestos, muy pocas veces se presenta como plomo metálico, forma aleaciones con otros metales, usándose principalmente en baterías de vehículos, tuberías, proyectiles, pesas, municiones, revestido de cables. Se halla en el aire, agua, polvo, suelo y la dieta, no siendo esencial para los seres vivos, proviniendo principalmente desde la gasolina al agregarse plomo como aditivo (Polo & Sulca, 2019).

### **Toxicidad**

Para la OMS (2018) la exposición a plomo, afecta el desarrollo neuronal, los riñones, causando hipertensión e infertilidad. Asimismo, la ATSDR (2007) afirma que afecta al sistema nervioso central, produciendo debilidad en las articulaciones; a dosis elevadas pueden dañar al cerebro y los riñones con riesgo de muerte, aborto en mujeres embarazadas y en los hombres cambios en la producción de espermatozoides; el DHHS considera que tanto sus compuestos y el metálico son carcinogénicos; por otro lado, la EPA lo cataloga como probable carcinogénico; y, la IARC indica como probablemente carcinogénico al plomo inorgánico y no clasificables en cuanto a su carcinogenicidad a sus compuestos orgánicos. Es muy tóxico en niños, considerándose la segunda mayor toxina en el cuerpo, que puede acarrear problemas en el crecimiento (Polo & Sulca, 2019).

## **Valor de referencia**

Para la OMS (2018) el contenido de plomo es inferior a 0,005 mg/L en las aguas potabilizadas, y en algunas situaciones mayores a 0,1 mg/L en contacto con accesorios que contienen plomo, por lo que 0,01 mg/L representa un VR provisional.

## **2.2.2 Monitoreo del agua superficial**

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) pone a disposición pautas generales de aplicación obligatoria para el ANA y aquellas que realicen esta actividad. Se detalla algunos aspectos a considerar en la investigación:

### **2.2.2.1 Recursos humanos**

ANA (2016), indica que el monitoreo debe realizarse por un equipo mínimo de dos personas, que conozcan 1) La zona donde se muestreará, 2) El acceso al lugar de monitoreo, 3) El procedimiento de toma de muestras, 4) La preservación de muestras, 5) El transporte de muestras y 6) El protocolo de monitoreo aprobado por el ANA.

### **2.2.2.2 Recursos económicos**

Según ANA (2016), se debe presupuestar los recursos económicos para cubrir: 1) Costo de traslado del equipo de trabajo, 2) Costo de viáticos para los integrantes del equipo, 3) Costo de envío de muestras, 4) Costo de los análisis de los parámetros, 5) Alquiler del equipo de monitoreo y 6) Materiales de escritorio y auxiliares, etc.

### **2.2.2.3 Tipo de muestra de agua**

Según el ANA (2016), las muestras se clasifican de acuerdo a la Figura 2.

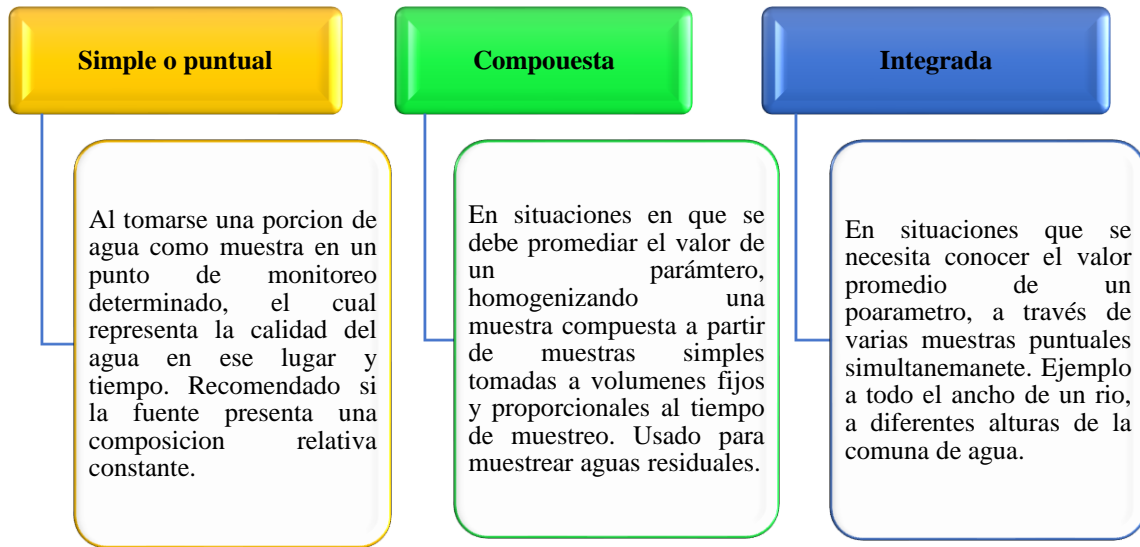


Figura 2. Características de los tipos de muestras de agua.

Nota. Adaptado de ANA (2016).

#### 2.2.2.4 Planificación del monitoreo

ANA (2016), considera que las actividades de planificación se diseñan en gabinete, actividades como: de monitoreo, identificando el recurso hídrico, los puntos de monitoreo y su accesibilidad (verificándose estos con Google Earth u otra herramienta informática), los parámetros a evaluarse, los equipos, materiales y formatos a utilizar, la logística para la actividad (ver Figura 3).

#### 2.2.2.5 Codificación del punto de muestreo

La ANA (2016), indica que para el punto de muestreo, debe considerarse su ubicación (registro en el sistema UTM con la ayuda de un GPS), una referencia (Ubicación de un punto de referencia al punto de monitoreo) y la codificación del Punto de muestreo; donde los puntos establecidos por el ANA se codifican de acuerdo al detalle de la Figura 4.

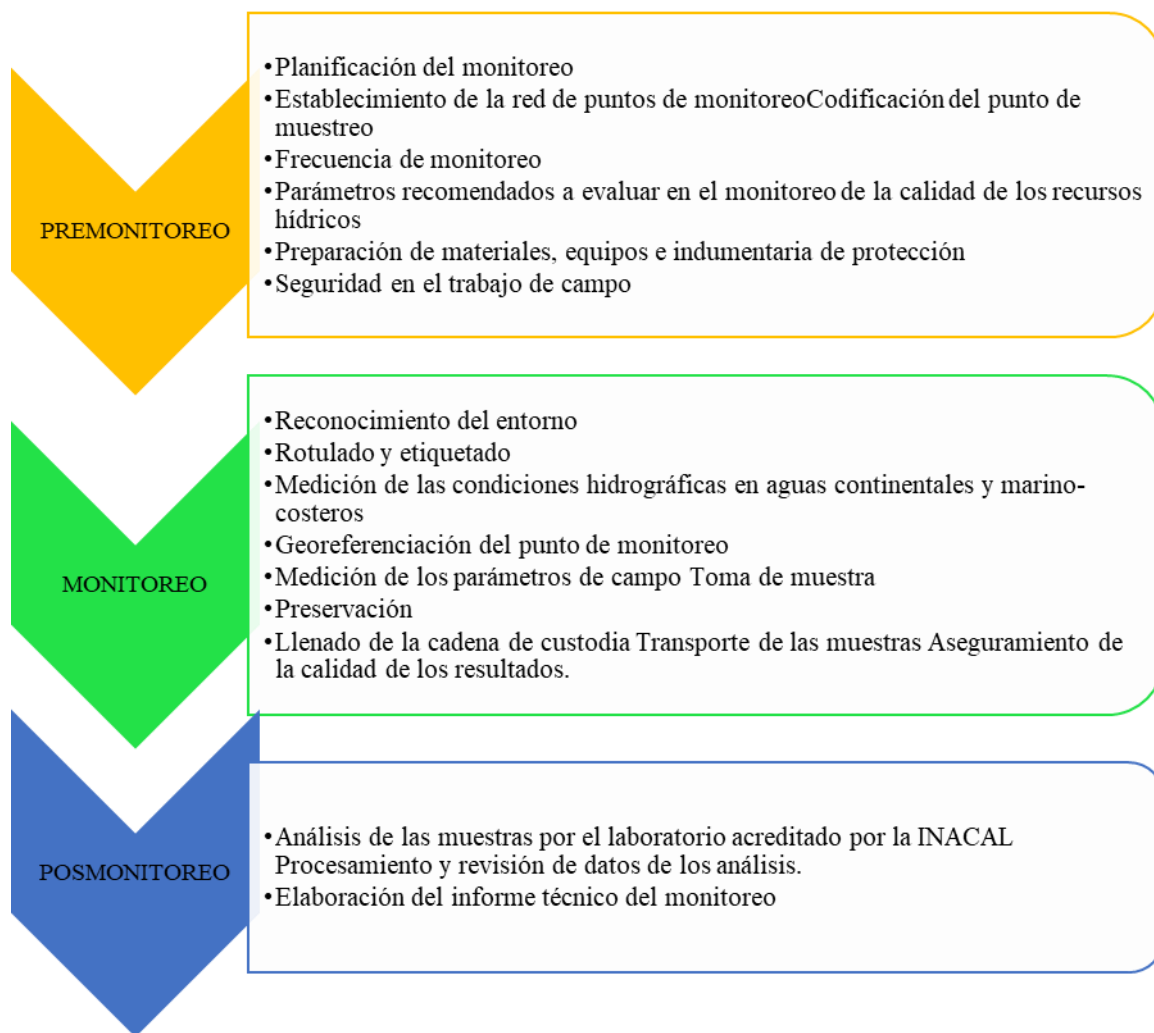


Figura 3. Actividades a considerar en la planificación de monitoreos.

Nota. Adaptado de ANA (2016).

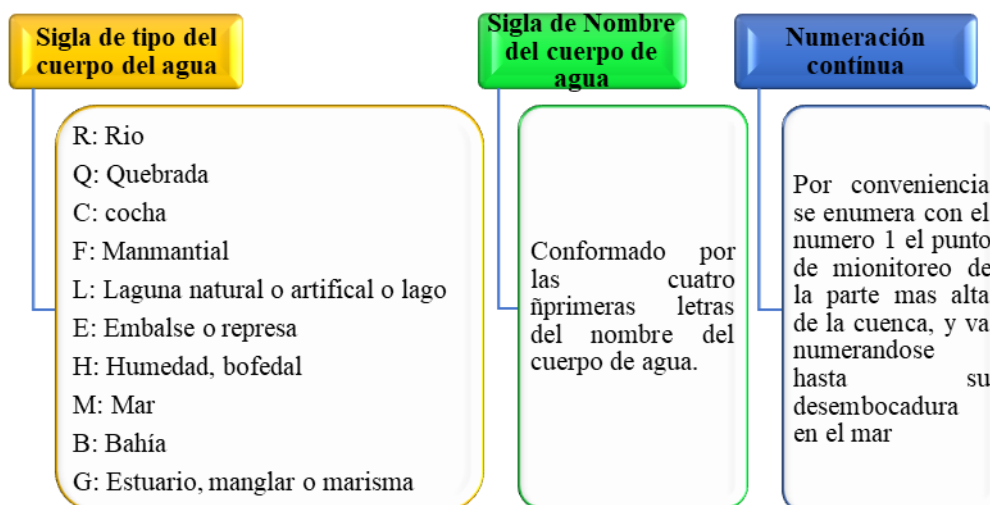


Figura 4. Detalle para la codificación de un punto de muestreo para el ANA.

Nota. Adaptado de ANA (2016).

## 2.2.3 Normas legales para la evaluación

### 2.2.3.1 Estándares de Calidad Ambiental para agua del MINAM

Con D.S. N° 004-2017-MINAM se aprueba los ECA para agua, que en su art. 3 establece para la subcategoría B1. Contacto primario, a aquellas donde se destinan para uso recreativo como la natación (Presidencia de la Republica del Perú, 2017). En el anexo del D.S. se establecen los ECA, extrayéndose para el estudio según la Tabla 2.

Tabla 2

*ECA para recreación de contacto primario del MINAM*

N°	Parámetros	B1: Contacto primario
		mg/L
1	Aluminio	0,2
2	Arsénico	0,01
3	Cadmio	0,01
4	Cromo *	0,05
5	Níquel	0,02
6	Plomo	0,01

Nota. \*: Para cromo total y cromo VI, recuperado de (Presidencia de la República del Perú, 2017).

### 2.2.3.2 Valores de referencia para agua de consumo humano de la OMS

En la guía de calidad de agua, la OMS (2018), indica los VR de sustancias que puedan hallarse en el agua, muchos de los cuales están documentados y soportados con investigaciones, y en otras ante la ausencia de evidencias científicas, considera un valor de referencia provisional. También, de acuerdo a los metales evaluados, se presenta su valor de referencia en la Tabla 3.



Tabla 3

*Valor de referencia de la OMS*

N°	Parámetros	VR mg/L
1	Aluminio	0,9
2	Arsénico	0,01
3	Cadmio	0,003
4	Cromo	0,05
5	Níquel	0,07
6	Plomo	0,01

Nota. Recuperado de (OMS, 2018).

### **2.3 Bases filosóficas**

El proceso evolutivo del hombre en toda su historia ha ido acompañado con cambios en el medio ambiente, modificándola a tal punto de afectar su salud con la propagación de enfermedades (Hernández, Hernández, Mauri, & García, 2012). A la vez, el MINAM (2016b) indica la potestad que poseen los órganos competentes para monitorear la acumulación de sustancias nocivas en los cuerpos de agua, pueden generar contaminación del ambiente y comprometer la salud de una población.

La contaminación causada por los metales pesados, se va incrementando en todo el mundo, comprometiendo severamente la salud, la seguridad alimentaria y el ambiente, siendo el Pb, Hg, As y Cd de mayor toxicidad a la salud humana, por lo que se tiene la necesidad de la realización de monitoreos para su detección, para un plan integral para su gestión, en salvaguarda y protección de la salud humana (Polo & Sulca, 2019).

## **2.4 Definición de términos básicos**

### **Bioacumulación**

MINAM (2016a) “Proceso de incremento en la concentración de los metales pesados en un organismo vivo a través del tiempo” (p. 12).

### **Biomagnificación**

MINAM (2016a) “Capacidad de los metales pesados de presentarse en bajas concentraciones en organismos al principio de la cadena trófica y en mayor proporción a medida que se asciende” (p. 12).

### **Contaminación del agua**

MINAM (2016b) “La contaminación del agua es la acumulación de sustancias tóxicas y derrame de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) alterando la calidad del agua” ( p. 16).

### **Desembocadura**

“Paraje por donde un río, un canal, etc., desemboca en otro, en el mar o en un lago” (Real Academia Española, 2022).

### **Punto de monitoreo**

ANA (2016) “Ubicación geográfica en una zona específica de un cuerpo de agua donde se realiza la toma de muestras de parámetros para la determinación de la calidad del agua” (p. 86).

### **Ríos**

“Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección” (Presidencia de la República del Perú, 2017, p. 11).

## **2.5 Hipótesis de investigación**

### **2.5.1 Hipótesis general**

- El contenido de metales pesados Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo se consideran contaminantes en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- Se detecta presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.
- El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.
- El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

## **2.6 Operacionalización de las variables**

Se ha considerado la interpretación para estudios de nivel descriptivo en variable de caracterización y variable de interés dadas por BIOESTADISTICO (2015, 9:05 – 9:23). Por lo que se ha considerado como la variable de caracterización a la realización de los análisis de metales a evaluar y la otra variable de interés correspondiente al propósito del estudio de evaluación del contenido de estos metales pesados respecto al ECA del MINAM para aguas superficiales categoría 1, subcategoría B, B1 y el VR de la OMS de riesgo potencial a la salud.

Tabla 4

*Operacionalización de variables*

EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DE DESEMBOCADURA DEL RÍO CHANCAY, HUARAL, AÑO 2021

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Escala
1. Contenido de metales pesados	V1: El monitoreo debe realizarse de acuerdo a lo establecido para el monitoreo de aguas superficiales aprobados por el ANA (Presidencia de la República del Perú, 2017).	Se consideró para el muestreo el protocolo del ANA (2016), analizándose el contenido de Al, As, Cd, Cr, Ni y Pb en laboratorio especializado.	1.1 Metales pesados.	1.1.1 Concentración de Aluminio 1.1.2. Concentración de Arsénico 1.1.3 Concentración de Cadmio 1.1.4 Concentración de Cromo 1.1.5 Concentración de Níquel 1.1.6 Concentración de Plomo	mg/L	Razón
2. Evaluación de contenido de metales pesados	V2: Los ECA para Agua son referentes obligatorios y que considera para su evaluación la descarga aguas arriba y debajo de efluentes que alteran la calidad del agua (Presidencia de la República del Perú, 2017).	Se evaluó respecto al ECA del MINAM que dispone para usos de recreación subcategoría B1 de contacto directo y el VR de la OMS de riesgo potencial a la salud.	2.1 Evaluación norma nacional .  2.2 Evaluación norma internacional	2.1.1 Comparación con el ECA del MINAM.  2.2.2 Comparación con el VR de la OMS.	Cumple Incumple.	Nominal  Nominal

## CAPITULO III METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño metodológico

#### 3.1.1 Tipo de investigación

Según BIOESTADISTICO (2012, 0:00 - 1:46), indica que hay cuatro tipos de investigación, el cual es exhaustiva al ser clasificados en algunas de estas y excluyente porque sólo puede pertenecer a un solo grupo de las dos condiciones, correspondiendo por tanto en un:

- **Estudio observacional.** En el sentido que, se muestreo y midió el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo, tal como se estaba presentando próximas a la desembocadura del río Chancay, en el período de estiaje a bajos caudales del río.
- **Estudio transversal.** Por el hecho que la medición del contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo, fueron realizados en un solo momento, en un día del mes de julio, mes que como se indicó previamente, presentan bajos caudales por corresponder al período de estiaje del río Chancay.
- **Estudio prospectivo.** Considerando que todas las etapas, desde la planificación, ejecución y análisis de los resultados, fueron realizados por la investigadora, incluyendo la identificación de cuatro puntos de muestreo, la toma de muestras y su envió a laboratorio para su análisis.

- **Estudio descriptivo.** El estudio presenta una sola variable de interés donde se evaluó los seis metales pesados en las aguas superficiales respecto al ECA del MINAM y el VR de la OMS de riesgo potencial a la salud.

Teniendo en cuenta a Gomero (1996) una investigación puede ser básica o aplicada, donde una investigación aplicada soluciona problemas en base a los conocimientos adquiridos de la ciencia e investigaciones básicas, generando conocimientos de aplicaciones prácticas. Por ello:

- **Estudio aplicado.** considerando que se tenía la necesidad de estudiar al Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo, hasta ese momento que se desconocía, y si estos superaban los LMP de acuerdo a lo dispuestos por el MINAM y el VR de la OMS, y que pondrían poner en riesgo a las personas que concurren y usan como fuente de recreación esa parte del río Chancay de la Provincia de Huaral.

### 3.1.2 Nivel de investigación

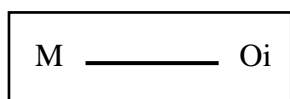
Según lo afirmado por Gomero (1996), los estudios de nivel descriptivo describen situaciones o hechos, exponiendo como se presenta un determinado fenómeno, especificando sus características, midiéndola para su posterior descripción.

En base a ello y las aseveraciones anteriores, el estudio es de nivel descriptivo, aunque en el cuadro de operacionalización de variables se ha considerado dos variables, según las recomendaciones dadas por BIOESTADISTICO (2015, 9:05 – 9:23). sobre los estudios descriptivos; una de ellas la variable de caracterización, que corresponde a la realización de análisis y la variable de interés correspondiente a la evaluación de estos seis metales en referencia al ECA del MINAM para aguas superficiales categoría 1, subcategoría B1 y el VR de la OMS de riesgo potencial a la salud.

### 3.1.3 Diseño

Sobre los diseños, Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) indican que son los planes o estrategias a desarrollar para recopilar los datos de una investigación, y dar respuesta a las interrogantes del planteamiento del problema, y que al ser concebidos satisfactoriamente, los resultados tienen una alta probabilidad de generar conocimiento. A la vez, Córdova (2017) sostiene que en los estudios cuantitativos, los diseños suelen representarse con esquemas gráficos.

Por ello, habiendo definido el estudio como de nivel descriptivo, y siendo tipificado como observacional al no manipularse las variables, para el estudio correspondió un diseño no experimental descriptivo, pudiéndose representarse mediante el siguiente diagrama:



Donde:

M: Agua superficial próxima a la desembocadura del río Chancay.

Oi: Medición del contenido de seis metales.

### 3.1.4 Enfoque

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), lo definen como rutas, sosteniendo que hay tres rutas en la investigación, la cualitativa, la cuantitativa y la mixta. Además, Córdova (2017) indica que con el enfoque cuantitativo se logra medir y cuantificar una variable, usando instrumentos validados y confiables para conocer su comportamiento.

El enfoque es cuantitativo, considerando que se determinó el contenido de seis metales pesados en las cuatro muestras de agua superficial cercanas a la desembocadura del río

Chancay, y se procesó estadísticamente para su evaluación en comparación con los LMP del ECA del MINAM para aguas superficiales categoría 1, subcategoría B1 y el VR de la OMS.

### 3.2 Población y muestra

#### 3.2.1 Población

Al definirse las unidades de investigación, su conjunto o agrupación corresponde a la población, debiéndose precisar temporal y espacialmente (Córdova, 2017). Considerando lo indicado por el SENAMHI (2015), el río Chancay presenta periodos de estiaje desde junio a agosto, indicado en la Figura 5.

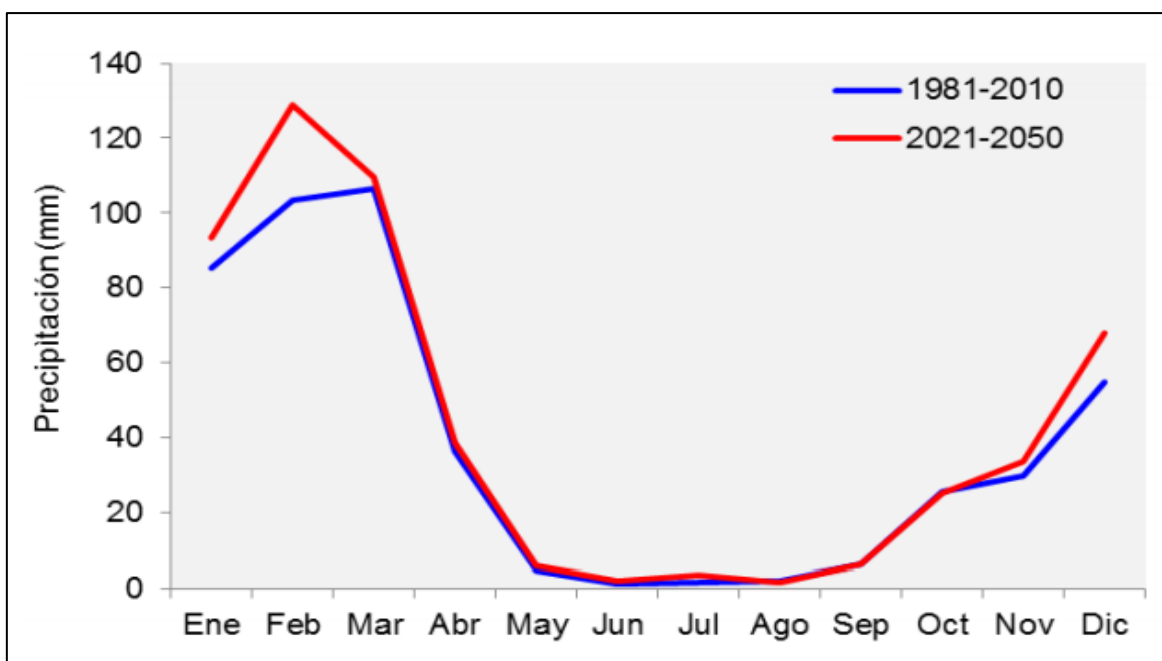


Figura 5. Fluctuación anual del caudal del río Chancay de Huaral

Nota. (SENAMHI, 2015, p. 39).

Y adicionalmente, el estudio al ser realizado al agua superficial, la población del estudio correspondió al agua superficial próxima a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, en período de estiaje, año 2021.



### **3.2.2 Muestra**

Parte de una población, cuya selección puede ser por muestreo probabilístico o no, con objeto de estudiarla y extenderla hacia la población (Córdova, 2017). Se ha considerado convenientemente, 04 muestras de agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, en julio del año 2021.

#### **Criterio de inclusión**

Toma de muestras en un día donde se aprecie que el agua este fluyendo en el río.

#### **Criterios de exclusión**

Se excluyeron las muestras con exceso de sedimentos.

### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

#### **3.3.1 Técnicas a emplear**

##### **a) Observación**

Asimismo, Córdova (2017) sobre la técnica de observación, menciona que implica el uso de los sentidos para acopiar datos de hechos y realidades. Por ello, se utilizó esta técnica para localizar los puntos de monitoreo, el análisis de muestras de agua próximas a la desembocadura del río Chancay.

#### **3.3.2 Descripción de los instrumentos**

- **Registro de identificación del punto de monitoreo.** De acuerdo al protocolo de monitoreo de agua superficiales dispuesta por el ANA (2016).
- **Cadena de custodia.** Adaptado para el análisis de los seis metales pesados. Custodiado por el consultor del laboratorio de análisis.

- **Equipos de análisis.** La muestra se remitió a laboratorio para su análisis, con el equipo por espectrometría de emisión atómica ICP-OES.

### **3.3.3 Procedimiento**

Se siguió en el estudio el siguiente procedimiento:

#### **a) Toma de muestra**

1. Uso de EPP en todo momento de toma de muestras.
2. Toma de muestra de la parte céntrica del río evitando zonas de estancamientos.
3. Enjuague del envase a utilizar en el muestreo como mínimo en dos ocasiones.
4. No remover los sedimentos cuando se recolecten las muestras,
5. Durante el muestreo no tocar la parte interna del recipiente de recolección y contraria al sentido del flujo.
6. Para una mayor representación se cogieron en cada punto de monitoreo cuatro muestras a intervalos de 10 minutos, para conformar una sola muestra del punto de monitoreo.
7. Evitar en lo posible el ingreso en los frascos de suciedad y sedimentos.
8. Durante el llenado en el envase para las muestras compuestas, no llenarlo todo dejando 1 % de espacio vacío para el preservante.

#### **b) Conservación y preservación de muestras**

9. Añadir inmediatamente la cantidad necesaria de  $\text{HNO}_3$  a la muestra compuesta según la Tabla 5, teniendo cuidado en el manejo del reactivo.

Tabla 5

*Reactivo y tiempo de preservación de las muestras para su envío a laboratorio*

Para metal pesado	Tiempo máximo de almacenamiento	Preservación
Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo.	06 meses	Acidificar con HNO <sub>3</sub> hasta pH 1-2

Nota. (ANA, 2016).

**c) Cadena de custodia**

10. A la muestra recolectada debe acompañárselo debidamente llenada, protegiéndose en una mica de plástico e introducido en un cooler conjuntamente con la muestra.

**d) Procedimiento de análisis de metales pesados**

Se muestra a continuación, la metodología utilizada facilitado por el consultor.

**Objetivo**

Se establece la metodología a seguir para cuantificar el Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo por espectrometría de emisión atómica ICP-OES.

**Alcance**

Cuatro muestras provenientes del río Chancay, próximas a desembocar al Océano Pacífico en la provincia de Huaral.

## Procedimiento

### - *Condiciones del ICP-OES*

Realizar a configuración en el método de análisis método aguas " con la selección "Aplicación Type Normal" del software "Smart Analyzer Vision" del equipo ICP-OES Spectro Arcos, de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6

#### *Configuración del equipo ICP-OES Spectro Arcos*

Descripción	Configuración de la Muestra
Poder de plasma (RF)	1478 W
Vista	Radial
Flujo de enfriamiento	12 L/min
Flujo auxiliar	0,63 L/min
Flujo del nebulizador	0,82 L/min
Antorcha	Torch fix quartz SOP 1.8MM
Cámara de nebulización	Ciclónica con Buffer
Nebulizador	Nebulizer ancho modificado para aplicaciones acuosas con accesorio y tubo de muestra de entrada.
Sample aspiration rate	2,0 ml/min
Replicate read time	57 sec
Aplicación	Type Normal
Tiempo de lavado	30 segundos
Velocidad de lavado	30 rpm
Nº de réplicas	2
Flujo de muestra	3,33
Manguera tygon (para flujo de muestra).Naranja / naranja con tope	Diámetro interno 0,89 mm Longitud 406 mm
Manguera tygon (para flujo de desecho) Azul / verde con tope	Diámetro interno 1,75 mm. Longitud 406 mm

Nota. Facilitada por el consultor.

- ***Selección de Longitudes de Onda***

Tabla 7

*Longitud de onda elementos químicos*

Elemento	Longitud de Onda (nm)
As	189,042
Cd	214,438
Pb	220,353
Cr	283,563
Ni	220,0000

Nota. Facilitada por el consultor.

- ***Preparación de la Matriz [1% V/V HNO<sub>3</sub> (1:1)]***

Para un volumen de 1 L, verter cuidadosamente 10 mL de solución HNO<sub>3</sub> (1:1) sobre 800 mL de agua ultra pura, dejar enfriar, trasvasar a una fiola de 1 L y enrasar.

- ***Preparación de Estándares de Calibración Mix Multielementos***

A partir de soluciones sintéticas de multielementos de 100 mg/L preparar soluciones con concentración de 2, 8 y 20 mg/L en un medio ácido 1% HNO<sub>3</sub>. Cada solución resultante contiene debe contener As, Cd, Cr, Hg, Pb

Preparar 4 fiolas de 200 mL y agregar:

A la 1ra: Solución 1% V/V de HNO<sub>3</sub> (1:1) = S0

A la 2da: 5 mL (Solución 2 mg/L) = S1

A la 3ra: 5 mL (Solución 8 mg/L) = S2

A la 4ta: 5 mL (Solución 20 mg/L) = S3

Aforar las fioas con la solución matriz.

A partir de soluciones estándares de 1 000 mg/L preparar soluciones de concentración de 100 mg/L en un medio ácido de 1% V/V de HNO<sub>3</sub> (1:1). Cada solución contendrá Bi, Ca, K, Mg, Mn, Na, Si.

Luego preparar 3 fioas de 200 mL y agregar:

A la 1ra: 10 mL (Solución 100 mg/L) = S4

A la 2da: 20 mL (Solución 100 mg/L) = S5

A la 3ra: 20 mL (Solución 100 mg/L) = S6

Calibrar el ICP con la curva preparada.

Tabla 8

*Datos curva de calibración*

Elemento	Mg/L						
	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
As	0	0,05	0,20	0,50	-	-	-
Cd	0	0,05	0,20	0,50	-	-	-
Cr	0	0,05	0,20	0,50	-	-	-
Pb	0	0,05	0,20	0,50	-	-	-

Nota. Facilitada por el consultor.

- ***Metales totales recuperables***

La muestra debe ser acidificada al momento del muestreo con HNO<sub>3</sub> (5 mL/L).

Mezclar y tomar 100 mL de alícuota en un vaso precipitado.

Añadir 2 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, cubrirlo con una luna de reloj y calentar aproximadamente entre 90-95 °C. Reducir el volumen entre 15-20 mL. (No dejar que hierva, el antimonio se pierde fácilmente).

Retirar el vaso, enfriar. Trasvasar a fiola de 100 mL y enrasarlo con agua ultra pura. Los elementos serán cuantificados en el espectrómetro de emisión óptica.

Correr un blanco de proceso.

Cálculo de la concentración de metales:

$$M = \frac{V * (L_m - L_B)}{V_{alic}} * F$$

Donde:

M : mg/L de concentración del elemento.

V : mL de volumen final de muestra.

L<sub>m</sub> : mg/L de lectura del elemento en la muestra.

L<sub>B</sub> : mg/L de lectura del elemento en el blanco.

V<sub>alic</sub> : mL de alícuota de muestra.

F : factor de dilución.

- ***Metales disueltos***

Al momento del muestreo, la muestra debe filtrarse con un filtro de 0,45 micras y luego acidificarla con HNO<sub>3</sub> (5 mL/L).

Los elementos serán cuantificados en el espectrómetro de emisión óptica.

Correr un blanco de proceso.

Cálculo de la concentración de metales:

$$M = (L_m - L_B) * F$$

Donde:

M : mg/L de concentración del elemento.

L<sub>m</sub> : mg/L de lectura del elemento en la muestra.

L<sub>B</sub> : mg/L de lectura del elemento en el blanco.

F : factor de dilución.

- ***Aseguramiento de la calidad***

- *Calibración Instrumental (CI)*.- Constituido por un blanco y los puntos de calibración.
- *Control de la Precisión*: Para evaluar la precisión de los resultados emitidos se realizan ensayos replicados (2 repeticiones).
- *Control de la Contaminación*: Para evaluar se ensaya un blanco de proceso.
- *Verificación Continua de la Calibración Instrumental (VCCI)*.- Se realiza al inicio del análisis de muestras y cada 2 lecturas.

Tabla 9

*Datos de verificación*

Patrón	Medio	Metal	Concentración, mg/L
Pt 301	1% HNO <sub>3</sub> (1:1)	Al, As, Cd, Cr, Hg, Pb	0,02

Nota. Facilitada por el consultor.



## b) Normas utilizadas



Figura 6. Normas consideradas para los análisis.

Nota. Facilitada por el consultor.

### 3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Tras reportarse el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo, se tabuló y represento los cambios de concentración de estos metales en los cuatro puntos de monitoreo, comparándose el contenido de estos metales respecto al ECA de aguas superficial para recreación del MINAN, y de cuan alejados están los análisis mínimos y máximos de cada metal en porcentaje respecto al LMP. De la misma manera, se realizó el análisis de los metales respecto al VR de la OMS.

Para contrastar las hipótesis planteadas, se consideró una significancia del 5 %, para las cuatro mediciones se realizaron pruebas de normalidad, para los metales que presentaron normalidad se utilizó la prueba t de Student para muestra única y para la que no era normal la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para una muestra, en la evaluación del contenido de estos metales en el agua superficial respecto al ECA del MINAM y el VR de la OMS.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1 Análisis del contenido de metales pesados

En la Tabla 10, se reporta el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo, donde aprecia que todos los metales considerados en la evaluación fueron detectados en todas las muestras de agua.

Tabla 10

*Contenido de metales en las muestras analizadas*

N°	Metal pesado	Contenido (mg/L)				Promedio	desviación estándar
		M1	M2	M3	M4		
1	Aluminio	0,022	0,018	0,018	0,025	0,021	0,003
2	Arsénico	0,047	0,024	0,002	0,028	0,025	0,018
3	Cadmio	0,007	0,005	0,007	0,007	0,007	0,001
4	Cromo	0,024	0,032	0,020	0,025	0,025	0,005
5	Níquel	0,008	0,001	0,002	0,007	0,005	0,004
6	Plomo	0,051	0,023	0,037	0,031	0,036	0,012

Nota. Mi: Muestra de agua superficial, Informe de ensayo IE-JGMT-0132-21.

El contenido de Aluminio varía de 0,018 a 0,025 con promedio de  $0,021 \pm 0,003$  mg/L, el Arsénico fluctúa de 0,002 a 0,047 promediando  $0,025 \pm 0,018$  mg/L, el Cadmio varía entre 0,005 a 0,007 promediando  $0,007 \pm 0,001$  mg/L, el Cromo fluctúa de 0,020 a 0,032 promediando  $0,025 \pm 0,005$  mg/L, el Níquel fluctúa de 0,001 a 0,008 promediando  $0,005 \pm 0,004$  mg/L y el Plomo varía de 0,023 a 0,051 promediando  $0,036 \pm 0,012$  mg/L.

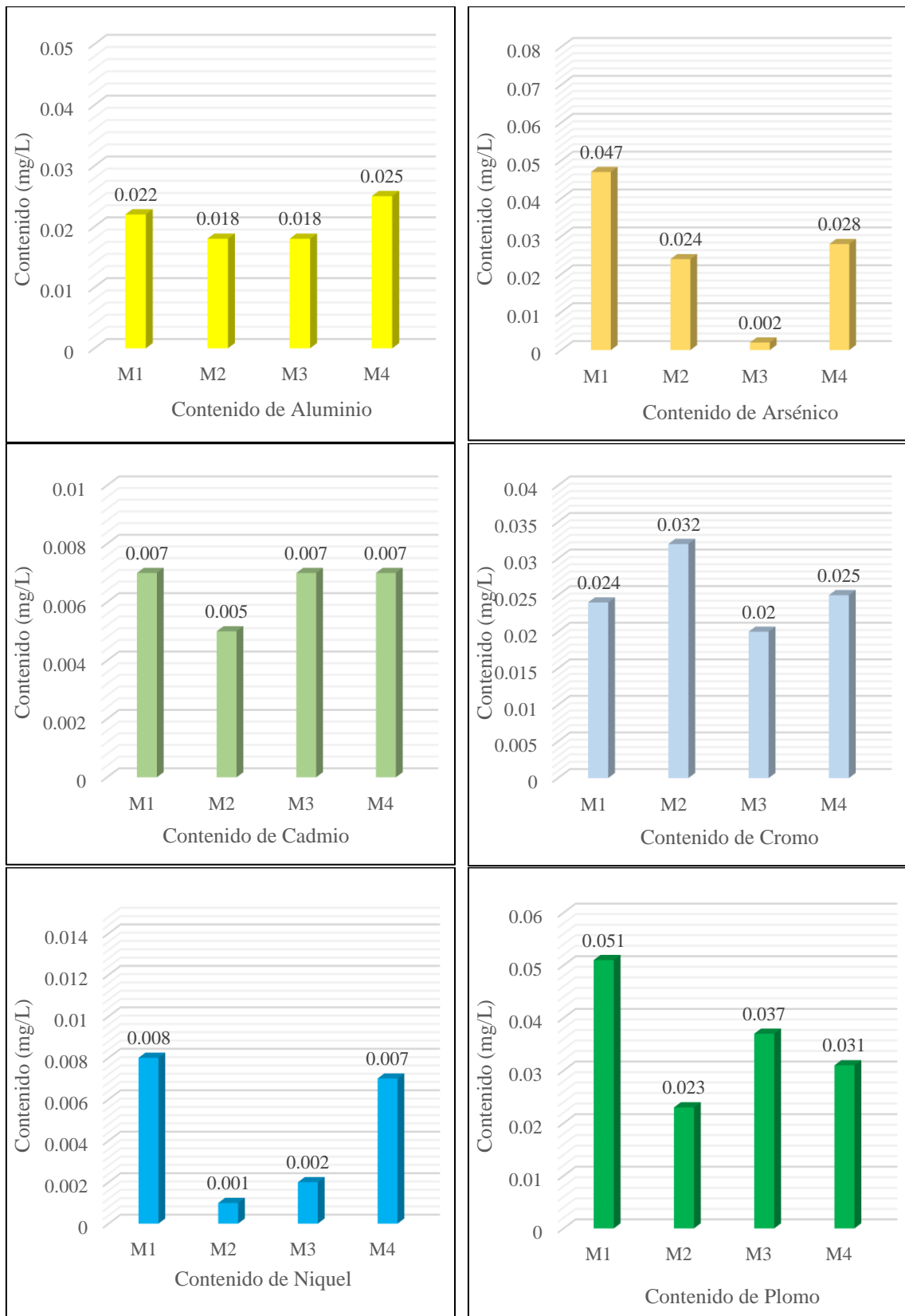


Figura 7. Variaciones de contenido entre los puntos de monitoreo.

#### 4.1.2 Evaluación con la norma nacional

Se reporta en la Tabla 10, la comparación con el ECA del MINAM.

Tabla 11

*Comparación de los análisis respecto al ECA de aguas superficial para recreación*

N°	Elemento	Contenido (mg/L)				B1: Contacto primario (mg/L)
		M1	M2	M3	M4	
1	Aluminio	0,022	0,018	0,018	0,025	0,2
2	Arsénico	0,047	0,024	0,002	0,028	0,01
3	Cadmio	0,007	0,005	0,007	0,007	0,01
4	Cromo	0,024	0,032	0,020	0,025	0,05
5	Níquel	0,008	0,001	0,002	0,007	0,02
6	Plomo	0,051	0,023	0,037	0,031	0,01

Adicionalmente, la Tabla 12 muestra el comportamiento porcentual de los análisis mínimos y máximos respecto al ECA.

Tabla 12

*Porcentaje de los análisis mínimos y máximos sobre el ECA del MINAM*

N°	Parámetros	Contenido (mg/L)		Valor ECA para recreación	% respecto al ECA	
		Mínimo	Máximo		Del mínimo	Del máximo
1	Aluminio	0,018	0,025	0,2	9,00	12,50
2	Arsénico	0,002	0,047	0,01	20,00	470,00
3	Cadmio	0,005	0,007	0,01	50,00	70,00
4	Cromo	0,02	0,032	0,05	40,00	64,00
5	Níquel	0,001	0,008	0,02	5,00	40,00
6	Plomo	0,023	0,051	0,01	230,00	510,00



Figura 8. Comparación del contenido considerando al ECA del MINAM.

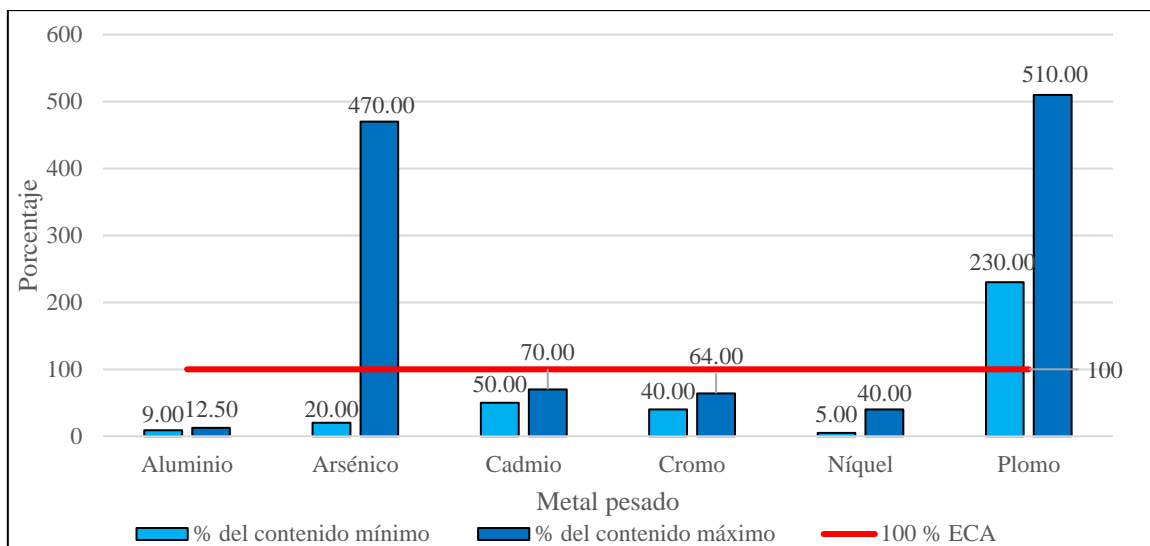


Figura 9. Porcentaje del contenido mínimo y máximo de metales pesados respecto al ECA.

Con el análisis de las Figuras 8 y 9, se evidencia:

- Todos los análisis del Aluminio, se hallan por debajo de ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,2 mg/L del ECA, representan el 9,00 % y 12,5 % respectivamente.
- Para el Arsénico, se presentan análisis que superan y no superan el ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,01 mg/L del ECA, representan el 20,00 % y 470,00 % respectivamente.
- Respecto al Cadmio, todos los análisis no superan el ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,01 mg/L del ECA, representan el 50,00 % y 70,00 % respectivamente.
- Sobre el Cromo, todos sus análisis no superan el ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,05 mg/L del ECA, representan el 40,00 % y 64,00 % respectivamente.
- Para el Níquel, todos los análisis no superan el ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,02 mg/L del ECA, representan el 5,00 % y 40,00 % respectivamente.

- En lo que respecta al Plomo, todos los análisis superan el ECA, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,01 mg/L del ECA, representan el 230,00 % y 510,00 % respectivamente.

#### 4.1.3 Evaluación con la norma internacional

Para la evaluación, se ha considerado los VR de la OMS que pueden considerarse perjudicial para el consumo humano.

Tabla 13

*Comparación de los análisis respecto al VR de la OMS*

N°	Metal pesado	Contenido (mg/L)				Valor de Referencia OMS
		M1	M2	M3	M4	
1	Aluminio	0,022	0,018	0,018	0,025	0,9
2	Arsénico	0,047	0,024	0,002	0,028	0,01
3	Cadmio	0,007	0,005	0,007	0,007	0,003
4	Cromo	0,024	0,032	0,02	0,025	0,05
5	Níquel	0,008	0,001	0,002	0,007	0,07
6	Plomo	0,051	0,023	0,037	0,031	0,01

También, en la Tabla 14, se detalla el comportamiento porcentual de los análisis mínimos y máximos en las muestras respecto al VR de la OMS.





Figura 10. Comparación del contenido considerando el VR de la OMS.

Tabla 14

Porcentaje de los análisis mínimos y máximos sobre el VR de la OMS

N°	Parámetros	Contenido		VR Considerada como amenaza	% respecto al VR	
		Mínimo	Máximo		Del Contenido mínimo	Del contenido máximo
1	Aluminio	0,018	0,025	0,9	2,00	2,78
2	Arsénico	0,002	0,047	0,01	20,00	470,00
3	Cadmio	0,005	0,007	0,003	166,67	233,33
4	Cromo	0,02	0,032	0,05	40,00	64,00
5	Níquel	0,001	0,008	0,07	1,43	11,43
6	Plomo	0,023	0,051	0,01	230,00	510,00

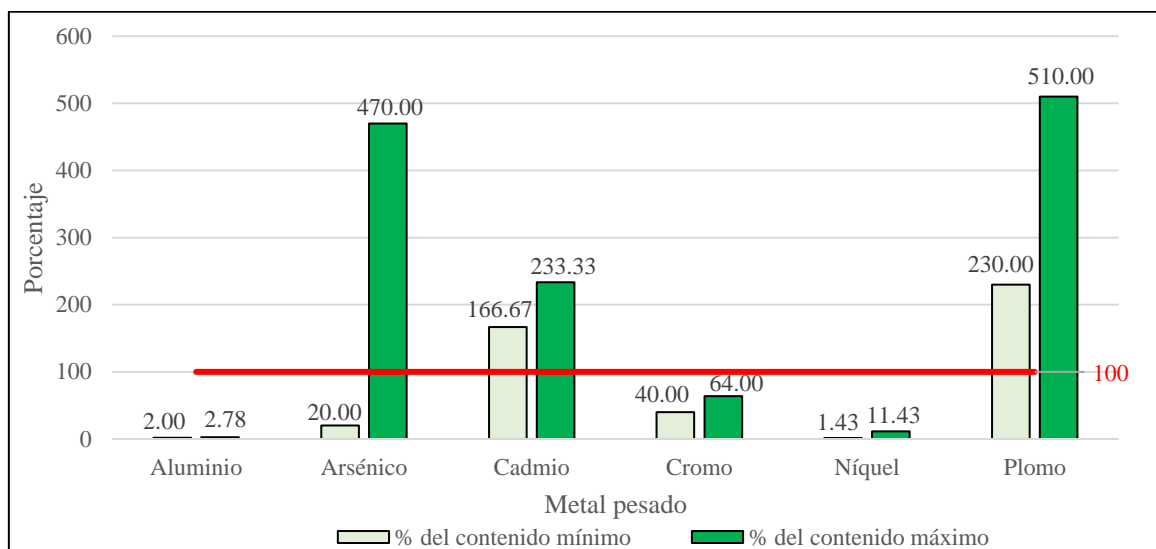


Figura 11. Porcentaje del contenido mínimo y máximo de metales pesados respecto al VR.

Tras el análisis de las Figuras 10 y 11, se puede evidenciar:

- Todos los análisis del Aluminio, se hallan por debajo de VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,9 mg/L del VR, representan el 2,00 % y 2,78 % respectivamente.

- Para el Arsénico, se presentan análisis que superan y no superan el VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,01 mg/L del VR, representan el 20,00 % y 470,00 % respectivamente.
- Respecto al Cadmio, todos los análisis superan el VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,003 mg/L del VR, representan el 166,67 % y 233,33 % respectivamente.
- Sobre el Cromo, todos sus análisis no superan el VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,05 mg/L del VR, representan el 40,00 % y 64,00 % respectivamente.
- Para el Níquel, todos los análisis no superan el VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,07 mg/L del VR, representan el 1,43 % y 11,43 % respectivamente.
- En lo que respecta al Plomo, todos los análisis superan el VR, donde sus contenidos mínimos y máximos respecto a 0,01 mg/L del VR, representan el 230,00 % y 510,00 % respectivamente.

#### **4.2 Contrastación de hipótesis**

En las pruebas estadísticas, se utilizó la notación siguiente

- Ho: Hipótesis nula
- Ha: Hipótesis alterna.

Previamente al uso del estadístico, se realizó las pruebas de normalidad a los análisis de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo con la prueba de Shapiro-Wilk que se muestran en la Tabla 15. Conclusión que se llegó según el siguiente criterio:

- Ho: Se ajustan los datos a una distribución normal ( $p\text{-valor} \geq 0,05$ ).
- Ha: No se ajustan los datos a una distribución normal ( $p\text{-valor} < 0,05$ ).

Tabla 15

*Análisis de la normalidad del contenido de metales evaluados*

N°	Metal pesado	Estadístico	p- valor	Conclusión
1	Aluminio	0,863	0,271	Normal
2	Arsénico	0,976	0,877	Normal
3	Cadmio	0,630	0,001	No normal
4	Cromo	0,947	0,697	Normal
5	Níquel	0,860	0,262	Normal
6	Plomo	0,978	0,889	Normal

- Para el Aluminio como  $0,271 > 0,05$ , para el Arsénico como  $0,877 > 0,05$ , para el Cromo como  $0,697 > 0,05$ , para el Níquel como  $0,262 > 0,05$  y para el aluminio como  $0,889 > 0,05$ , se acepta  $H_0$ , de datos de estos metales se ajustan a la normalidad.
- En cambio, para el Cadmio como  $0,001 < 0,05$ , se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$  de los datos para Cd no se ajustan a la normalidad.

Asimismo, también la normalidad identificada para los datos, se puede apreciar mejor en el diagrama de caja y bigotes, como se muestra en la Figura 12.

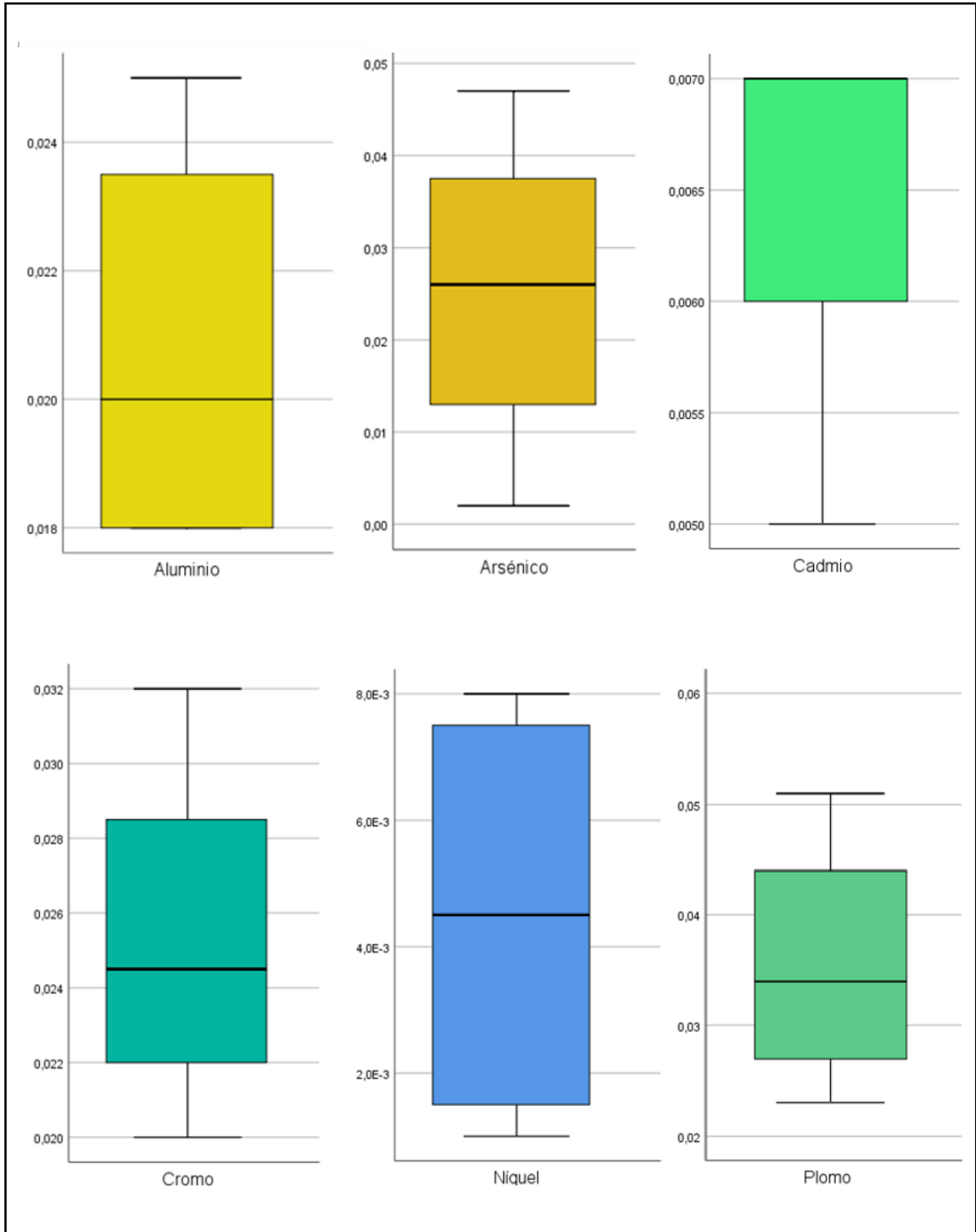


Figura 12. Diagrama caja y bigotes del contenido de metales evaluados.

#### **4.2.1 Detección de metales pesados**

##### **a) Hipótesis estadística**

Ho: No se detecta presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

Ha: Se detecta presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

##### **b) Interpretación**

Al evidenciarse, con la cuantificación de todos los metales pesados, que estas superan los límite de detección y sensibilidad del equipo, se acepta la hipótesis de investigación de que se detecta presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en el año 2021.

#### **4.2.2 Comparación con el ECA del MINAM**

##### **a) Hipótesis estadística**

Ho: El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo no superan (cumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

Ha: El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

## b) Prueba estadística

### Pruebas para el Aluminio, Arsénico, Cromo, Níquel y Plomo

Tabla 16

*Pruebas t de Student para muestra única respecto al ECA*

N°	Metal	Medida de evaluación	t	Sig.	p-valor y comparación
1	Aluminio	0,2	-105,335	0,000	1-Sig/2=1,000 > 0,05
2	Arsénico	0,01	1,652	0,197	Sig/2=0,099 > 0,05
3	Cromo	0,05	-9,917	0,002	1-Sig/2=0,999 > 0,05
4	Níquel	0,02	-8,827	0,003	1-Sig/2=0,999 > 0,05
5	Plomo	0,01	4,315	0,023	Sig/2=0,012 < 0,05

De la Tabla 16, para Aluminio, Arsénico, Cromo y Níquel, en vista que el p-valor supera al 0,05 de significancia se acepta  $H_0$ , concluyéndose de que el contenido de Aluminio, Arsénico, Cromo y Níquel no superan (cumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

Por otro lado, para el Plomo, en vista que el p-valor es inferior al 0,05 de significancia, se descarta  $H_0$  y se queda con  $H_a$  de que el contenido de Plomo supera (incumple) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

Resultados corroborados calculando la t crítica 3,1824 a 95 % de Nivel de confianza y a tres grados de libertad, donde el valor t calculado para el Aluminio, Arsénico, Cromo y Níquel es menor al valor crítico a excepción del Plomo.

## Prueba para el Cadmio

Tabla 17

*Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra respecto al ECA*

N°	Metal	Medida de evaluación	p-valor	Análisis	Interpretación
1	Cadmio	0,010	0,059	0,059 > 0,05	Aceptar Ho

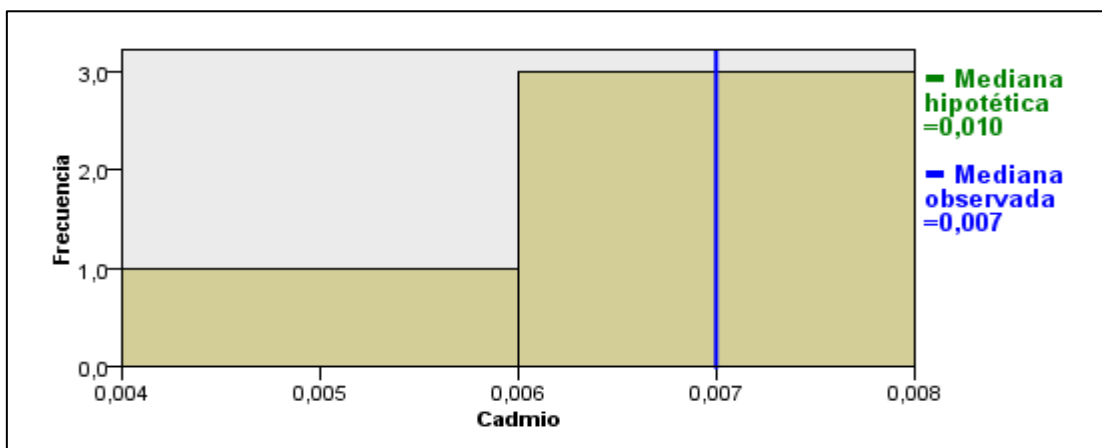


Figura 13. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra para Cadmio con mediana hipotética 0,010 mg/L.

### c) Interpretación

Para el caso del Cadmio:

- Hipótesis nula: La mediana de los contenidos de Cadmio es igual a 0,01
- Hipótesis alterna: La mediana de los contenidos de Cadmio es diferente a 0,01,

Se obtiene en la Tabla 17 un p-valor 0,059 mayor a 0,05, aceptándose Ho de que la mediana de los contenidos de Cadmio es igual a 0,01.

Sobre la hipótesis de investigación, apreciando la Figura 13, se concluye a nivel de confianza del 95 %, que estadísticamente no hay diferencias significativas entre la mediana observada (0,007 mg/L) y la mediana hipotética (0,010 mg/L) considerada para la



evaluación. Por tanto, se acepta  $H_0$  de que el contenido de Cadmio no superan (cumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.

### 4.2.3 Comparación con el VR de la OMS

#### a) Hipótesis estadística

$H_0$ : El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo no superan (cumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en el año 2021.

$H_a$ : El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en el año 2021.

#### b) Prueba estadística

Tabla 18

*Pruebas t de Student para una muestra respecto al VR de la OMS*

N°	Metal	Medida de evaluación	t	Sig.	p-valor y comparación	Interpretación
1	Aluminio	0,9	-516,685	0,000	1-Sig/2=1,000 >0,05	Aceptar $H_0$
2	Arsénico	0,01	1,652	0,197	Sig/2=0,099 >0,05	Aceptar $H_0$
3	Cromo	0,05	-9,917	0,002	1-Sig/2=0,999 >0,05	Aceptar $H_0$
4	Níquel	0,07	-37,302	0,000	1-Sig/2=1,000 >0,05	Aceptar $H_0$
5	Plomo	0,01	4,315	0,023	Sig/2=0,012 <0,05	Rechazar $H_0$

De la Tabla 18 para Aluminio, Arsénico, Cromo y Níquel se acepta  $H_0$ , concluyéndose de que el contenido de Aluminio, Arsénico, Cromo y Níquel no superan (cumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en el año 2021.

Caso contrario a la del Plomo, donde la  $H_0$  se rechaza y se acepta la  $H_a$  de que el contenido de Plomo supera (incumple) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en el año 2021.

### Prueba para el Cadmio

Tabla 19

*Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra respecto al VR de la OMS*

N°	Metal	Medida de evaluación	p-valor	Análisis	Interpretación
1	Cadmio	0,003	0,059	$0,059 > 0,05$	Aceptar la $H_0$

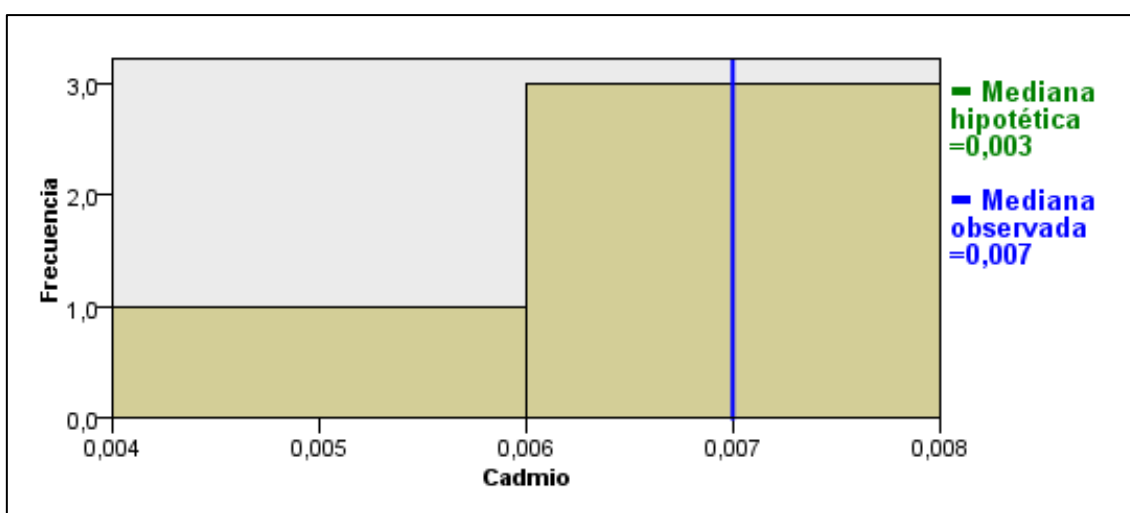


Figura 14. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon de una muestra para Cadmio con mediana hipotética 0,003 mg/L.

#### c) Interpretación

Para el caso del Cadmio, se tiene:

- $H_0$ : La mediana de los contenidos de Cadmio es igual a 0,003
- $H_a$ : La mediana de los contenidos de Cadmio es diferente a 0,003.

Se obtiene la Tabla 19 un p-valor 0,059 mayor a 0,05, aceptándose  $H_0$ , de que La mediana de los contenidos de Cadmio es igual a 0,003.

Sobre la hipótesis de investigación, apreciando la Figura 14, se tiene al 95 % de nivel de confianza que estadísticamente no hay diferencias significativas entre la mediana observada (0,007 mg/L) y la mediana hipotética (0,003 mg/L) considerada para la evaluación. Por tanto, se acepta  $H_0$  de que el contenido de Cadmio no superan (cumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en el 2021.

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN**

#### **5.1 Discusión de resultados**

En lo que respecta al análisis de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay en 2021, se detectó estos metales en el agua superficial. Concordante con lo expresado por Villena (2018) de que la proliferación de metales en el medio ambiente, puede deberse naturalmente por la mineralogía del terreno o por la disposición de actividades minero metalúrgicos; al igual que todas las investigaciones consideradas en lo antecedentes que también reportaron presencia de estos metales.

Sobre la evaluación del contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay en 2021 respecto al ECA del MINAM destinadas para recreación B1 contacto directo, se evidenció estadísticamente que el contenido de estos metales a excepción del Plomo cumplen el ECA para el agua superficial subcategoría B1 contacto directo considerada para recreación. *Concordantes para Aluminio* (inferiores a ECA 0,2 mg/L): en la desembocadura del río Coata al lago Titicaca en estiaje que presentó 0,017 mg/L (Capacoila, 2017). *Concordantes para Arsénico* (inferiores a ECA 0,01 mg/L): río Guastatoya de Guatemala en estiaje 0,001 a 0,005 mg/L (Morales, 2018), río Crucero de Puno su ausencia (Salas-Mercado et al.,2020), río Chimín en estiaje todos 0,0065 mg/L (Tirado & Valverde, 2019) y en Moquegua en el río Vizcachas 0,00346 a 0,00695 mg/L (Pinto, 2018); *no concordante para Arsénico* (superiores a ECA 0,01 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,051 a 0,126 mg/L (Morales & Rojas, 2018) y en Moquegua en el río

Chilota 0,08402 a 0,16089 mg/L (Pinto, 2018). *Concordante para Cadmio* (inferiores a ECA 0,01 mg/L): río Guastatoya de Guatemala en estiaje <0,0003 a 0,003 mg/L (Morales, 2018), río Crucero de Puno 0,00011 a 0,00429 mg/L (Salas-Mercado et al.,2020), río Chimín en estiaje todos 0,0027 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), en el río Chalhuanca <0,00005 a <0,0004 mg/L (Cristobal, 2018), en Moquegua en el río Vizcachas 0,00005 a 0,00011 mg/L y en el río Chilota 0,00005 mg/L (Pinto, 2018), desembocadura del río Coata al lago Titicaca en Puno en estiaje 0 mg/L (Capacoila, 2017). *Concordantes para Cromo* (inferiores a ECA 0,05 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje todos 0,0055 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018), río Vinces de Ecuador < 0,001 mg/L (Yagual, 2018), río Guastatoya de Guatemala en estiaje < 0,0005 a 0,003 mg/L (Morales, 2018), río Chimín, en estiaje todos 0,0056 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), río Chalhuanca <0,0003 a 0,0009 mg/L (Cristobal, 2018), en Moquegua en el río Vizcachas 0,0003 mg/L y en el río Chilota 0,0003 a 0,0014 mg/L (Pinto, 2018), desembocadura del río Coata al lago Titicaca en Puno en estiaje 0 mg/L (Capacoila, 2017); *no Concordantes para Cromo* (superiores a ECA 0,05 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,06 a 0,13 mg/L (Patiño & Camilo, 2020). *Concordantes para Níquel* (inferiores a ECA 0,02 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje todos 0,0055 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018) y río Chimín, en estiaje todos 0,005 mg/L (Tirado & Valverde, 2019). *Concordantes para Plomo* (inferiores a ECA 0,01 mg/L): río Vinces de Ecuador < 0,0008 mg/L (Yagual, 2018), río Chimín, en estiaje todos 0,0047 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), río Chalhuanca <0,00004 a 0,0087 mg/L (Cristobal, 2018) y en Moquegua el río Vizcachas 0,00022 a 0,00058 mg/L y el río Chilota 0,00017 a 0,00152 mg/L (Pinto, 2018); *no concordantes para Plomo* (superiores a ECA 0,01 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,15 a 0,46 mg/L (Patiño & Camilo, 2020) y *parcialmente concordantes para Plomo*: río Ocoa de Colombia en estiaje 0,0055 a 0,0230 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018) y río Guastatoya en estiaje < 0,0007 a 0,012 mg/L (Morales, 2018).

Respecto a la evaluación del contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay en 2021 respecto el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS, se evidenció estadísticamente que el contenido de estos metales a excepción del Plomo cumplen con el VR de la OMS en el agua superficial.

*Concordantes para Aluminio* (inferiores a VR 0,9 mg/L): en la desembocadura del río Coata al lago Titicaca en estiaje que presentó 0,017 mg/L (Capacoila, 2017). *Concordantes para Arsénico* (inferiores a VR 0,01 mg/L): río Guastatoya de Guatemala en estiaje 0,001 a 0,005 mg/L (Morales, 2018), río Crucero de Puno su ausencia (Salas-Mercado et al.,2020), río Chimín en estiaje todos 0,0065 mg/L (Tirado & Valverde, 2019) y en Moquegua en el río Vizcachas 0,00346 a 0,00695 mg/L (Pinto, 2018); *no concordante para Arsénico* (superiores a VR 0,01 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,051 a 0,126 mg/L (Morales & Rojas, 2018) y en Moquegua en el río Chilota 0,08402 a 0,16089 mg/L (Pinto, 2018). *Concordante para Cadmio* (inferiores a VR 0,003 mg/L): río Guastatoya de Guatemala en estiaje <0,0003 a 0,003 mg/L (Morales, 2018), río Crucero de Puno 0,00011 a 0,00429 mg/L (Salas-Mercado et al.,2020), río Chimín en estiaje todos 0,0027 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), en el río Chalhuanca <0,00005 a <0,0004 mg/L (Cristobal, 2018), en Moquegua en el río Vizcachas 0,00005 a 0,00011 mg/L y en el río Chilota 0,00005 mg/L (Pinto, 2018), desembocadura del río Coata al lago Titicaca en Puno en estiaje 0 mg/L (Capacoila, 2017). *Concordantes para Cromo* (inferiores a VR 0,05 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje todos 0,0055 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018), río Vines de Ecuador < 0,001 mg/L (Yagual, 2018), río Guastatoya de Guatemala en estiaje < 0,0005 a 0,003 mg/L (Morales, 2018), río Chimín, en estiaje todos 0,0056 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), río Chalhuanca <0,0003 a 0,0009 mg/L (Cristobal, 2018), en Moquegua en el río Vizcachas 0,0003 mg/L y en el río Chilota 0,0003 a 0,0014 mg/L (Pinto, 2018), desembocadura del río Coata al lago Titicaca en Puno en estiaje 0 mg/L (Capacoila, 2017); *no Concordantes para Cromo* (superiores a VR 0,05 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,06

a 0,13 mg/L (Patiño & Camilo, 2020). *Concordantes para Níquel* (inferiores a VR 0,07 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje todos 0,0055 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018) y río Chimín, en estiaje todos 0,005 mg/L (Tirado & Valverde, 2019). *Concordantes para Plomo* (inferiores a VR 0,01 mg/L): río Vinces de Ecuador < 0,0008 mg/L (Yagual, 2018), río Chimín, en estiaje todos 0,0047 mg/L (Tirado & Valverde, 2019), río Chalhuanca <0,00004 a 0,0087 mg/L (Cristobal, 2018) y en Moquegua el río Vizcachas 0,00022 a 0,00058 mg/L y el río Chilota 0,00017 a 0,00152 mg/L (Pinto, 2018); *no concordantes para Plomo* (superiores a VR 0,01 mg/L): río Ocoa de Colombia en estiaje 0,15 a 0,46 mg/L (Patiño & Camilo, 2020) y *parcialmente concordantes para Plomo*: río Ocoa de Colombia en estiaje 0,0055 a 0,0230 mg/L (Babativa & Caicedo, 2018) y río Guastatoya en estiaje < 0,0007 a 0,012 mg/L (Morales, 2018).

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

- Se detectó la presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en el año 2021.
- El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo y Níquel a excepción del Plomo cumplen con el ECA de la categoría 1, subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.
- El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo y Níquel a excepción del Plomo cumplen con el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS, en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en el año 2021.

#### **6.2 Recomendaciones**

- Habiendo observado la problemática de contaminación de los ríos en el Perú, se sugiere que aparte de la autoridad competentes en nuestro país, como el MINAM, la OEFA, se haga participe a todas las universidades de país, dotándola de recursos e implementación de laboratorios, para el monitoreo y control de cada cuenca, preferentemente donde se encuentran ubicadas, para garantizar su



cuidado y preservación y que no se siga contaminando para las futuras generaciones.

- Al encontrarse que el Plomo no cumple con el ECA para recreación del MINAM y el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS próximas a la desembocadura del río Chancay, se recomienda que las personas no concurran y utilicen esta agua para natación u otras actividades de recreación, debiendo tener cuidado de un riesgo potencial en su ingesta.
- Se sugiere complementar la investigación con un estudio de los sedimentos, de análisis de metales pesados en el fondo y orillas del río Chancay, que están expuesta y de acceso a personas que realizan actividades de natación.
- Se recomienda identificar los puntos de descarga de residuos sólidos a lo largo del recorrido del río Chancay al océano pacífico, para la identificación de los puntos de contaminación por residuos, entre ellos los metales pesados.
- Identificar y realizar la limpieza de restos de residuos sólidos presentes en tiempos de estiaje en el cauce del río Chancay para el cuidado de nuestro medio ambiente.
- Retirar los residuos sólidos presentes a lo largo de las orillas cercanas a la desembocadura del río Chancay, que ponen en riesgo a los ecosistemas marinos y que por la cadena trófica llegan a la población en su consumo.

## CAPITULO VII

### REFERENCIAS

#### 7.1 Fuentes documentales

- Babativa, I. A., & Caicedo, J. C. (2018). *Evaluación de la presencia y distribución de los metales pesados cromo, níquel y plomo en el río Ocoa, en la zona comprendida entre la desembocadura del caño Maizaro hasta el puente Murujuy, Municipio de Villavicencio – Meta*. (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12075>
- Capacoila, J. (2017). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata*. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/6639>
- Cristobal, J. J. (2018). *Determinación de metales pesados en el río Chalhuanca en el anexo de Tarucamarca-Tisco-Caylloma*. (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7389>
- Hernández, M., Hernández, M., Mauri, J. L., y García, V. (2012). La filosofía, el proceso salud-enfermedad y el medio ambiente. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 11(Supl. 5), 727-735. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1729-519X2012000500019&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1729-519X2012000500019&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Morales, L. S. (2018). *Estudio exploratorio de los niveles de metales pesados (As, Cd, Cr, Pb, Se) en el río Guastatoya, departamento de El Progreso*. (Tesis de pregrado).

Recuperado de <https://biblioteca->

[farmacia.usac.edu.gt/library/index.php?title=9254&lang=%20%20&query=@title=](https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/library/index.php?title=9254&lang=%20%20&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@autor=MORALES%20GARCIA,%20LOIDA%20SARAI%20@mode=&recnum=1&mode=)

[Special:GSMSearchPage@process=@autor=MORALES%20GARCIA,%20LOID](https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/library/index.php?title=9254&lang=%20%20&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@autor=MORALES%20GARCIA,%20LOIDA%20SARAI%20@mode=&recnum=1&mode=)

[A%20SARAI%20@mode=&recnum=1&mode=](https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/library/index.php?title=9254&lang=%20%20&query=@title=Special:GSMSearchPage@process=@autor=MORALES%20GARCIA,%20LOIDA%20SARAI%20@mode=&recnum=1&mode=)

Morales, P. A., & Rojas, R. A. (2018). *Evaluación de la presencia y distribución de*

*arsénico y cadmio en el río Ocoa, municipio de Villavicencio, Meta.* (tesis de

pregrado). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/13700>

Patiño, Y. F., & Camilo, A. (2020). *Identificación y comparación de presencia de metales*

*pesados: Pb, Cr y Zn en el río Ocoa y sus fuentes de origen antrópico,*

*Villavicencio-Meta.* (Tesis de pregrado). Recuperado de

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28002>

Pinto, E. M. (2018). *Evaluación de los metales pesados en los ríos Vizcachas y Chilota distrito*

*de Chojota, provincia General Sanchez Cerro, región de Moquegua.* (Tesis de

pregrado). Recuperado de [https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e4359f9f-cdcc-4a87-affa-](https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e4359f9f-cdcc-4a87-affa-7da72e214919)

[7da72e214919](https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e4359f9f-cdcc-4a87-affa-7da72e214919)

Polo, C., & Sulca, L. (2019). Metales pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud

humana. *Ciencias*, 2(1), 20-36. <https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842>

Rivera, H., Chira, J., Chacón, I., Campian, M. (2010). Geodisponibilidad de metales pesados

en sedimentos de los ríos Chancay y Huaura. Departamento de Lima. *Revista del*

*Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas,*

*13(26), 21-25.* Recuperado de <https://doi.org/10.15381/iigeo.v13i26.344>

Salas-Mercado, D., Hermoza-Gutiérrez, M., & Salas-Ávila, D. (2020). Distribución de

metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero,

Perú. *Revista Boliviana de Química*, 37(4), 185-193. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426365221001>

Tirado, P. H., & Valverde, L. (2019). *Determinación del pH y concentración de metales totales de las aguas del río Chimín, distrito Cachachi - 2018 y 2019*. (tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22012>

Villena, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 35(2), 304-308.  
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

Yagual, F. J. (2018). *Determinación de plomo y cromo en tramo del río Vices en sector La Bocana del Cantón Salitre– Ecuador. propuesta de prevención y remediación*. (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29604>

## 7.2 Fuentes bibliográficas

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales* (1ª ed.). Lima, Perú: Gráfica Industrial Alarcón S.R.L.

Córdova, I. (2017). *El proyecto de investigación cuantitativa* (1ª ed. 4ª reimpr.). Lima, Perú: San Marcos.

Gomero, G. (1996). *Métodos de investigación científica: Enfoques modernos*. Lima, Perú: FAKIR Editores.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México. México: Mc Graw Hill Education.

Ministerio del Ambiente. (2016a). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio módulo 1: salud y ambiente*. (1ª ed.). Lima, Perú: Servicios Generales Q&F Hermanos S.A.C.

Ministerio del Ambiente. (2016b). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio módulo 3: Agua y alimento* (1ª ed.). Lima, Perú: Gráfica39 S.A.C.

### 7.3 Fuentes hemerográficas

La República. (2015). *Residuos en playas de Lima provienen de los ríos que desembocan en el mar*. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/867848-residuos-en-playas-de-lima-proviene-de-los-rios-que-desembocan-en-el-mar/>

Presidencia de la República del Perú. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM del 07 de junio del 2017 donde se Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. Lima: Presidencia de la República del Perú.

### 7.4 Fuentes electrónicas

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2005). *Reseña Toxicológica del Níquel*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts15.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts15.html)

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2006). *Reseña Toxicológica del Arsénico*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html)

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007). *Resumen de Salud Pública - Plomo*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs13.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html)

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2008). *Resúmenes de Salud Pública – Aluminio*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs22.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs22.html)

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012a). *Reseña Toxicológica del Cadmio*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de

[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts5.html#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20prolongada%20a%20niveles,y%20fragilidad%20de%20los%20huesos.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20prolongada%20a%20niveles,y%20fragilidad%20de%20los%20huesos.)

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2012b). *Reseña Toxicológica del Cromo*. . Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Recuperado de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts7.html#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20al%20cromo%20ocurre,el%20est%C3%B3mago%20o%20los%20intestinos.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts7.html#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20al%20cromo%20ocurre,el%20est%C3%B3mago%20o%20los%20intestinos.)

BIOESTADISTICO. (2012, 12 de febrero). 01. *Tipos de investigación / Metodología de la investigación científica* [Video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=QXmKN34hbtM&t=42s>

BIOESTADISTICO. (2015, 19 de enero). *El cuadro de operacionalización de variables* [Video]. YouTube. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=xYeHNTLYebY>

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Serie recursos naturales e infraestructura, Comisión Económica para América Latina, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411>

Google Maps. (2022). *Mapa de ubicación de la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral*. Recuperado de <https://www.google.com/maps/@-11.6127962,-77.2335605,3710m/data=!3m1!1e3>

Greenpeace. (2005). *Basuras en el mar*. Recuperado de <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/contaminacion/basuras-en-el-mar.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* (Cuarta edición que incorpora la primera adenda). Ginebra, Suiza. Recuperado de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Guidelines on recreational water quality*. Volume 1: Coastal and Fresh Waters. [Directrices sobre la calidad del agua

*recreativa. Volumen 1: aguas costeras y dulces*]. Ginebra. Suiza. Recuperado de <https://www.who.int/publications/i/item/9789240031302>

Real Academia Española. (2022). *Desembocadura*. Recuperado de <https://dle.rae.es/desembocadura>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2015). *Impacto del Cambio Socio Económico y Climático en la gestión de recursos hídricos: cuenca del río Chancay-Huaral*. Recuperado de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/436>

## **ANEXOS**



## Anexo 1. Matriz de consistencia

### EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DE DESEMBOCADURA DEL RÍO CHANCAY, HUARAL, AÑO 2021

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Escala	Métodos y técnicas
<p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué metales pesados entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo se consideran contaminantes en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay de la provincia de Huaral en el año 2021?</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la evaluación del contenido de metales pesados Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>El contenido de metales pesados Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo se consideran contaminantes en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> </ul>	<p><b>V1:</b></p> <p>Contenido de metales pesados</p>	<p>Metales pesados</p>	<p>Aluminio Arsénico Cadmio Cromo Níquel Plomo</p>	<p>Razón Razón Razón Razón Razón</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> Observacional Prospectivo Transversal Descriptivo Aplicada.</p> <p><b>DISEÑO</b> No experimental descriptivo transversal</p>
<p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo son detectados en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?</li> <li>¿Cuáles de los metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo incumplen el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?</li> <li>¿Qué metales entre Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo incumplen el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021?</li> </ul>	<p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el análisis de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> <li>Comparar respecto al ECA de aguas superficiales destinadas para recreación del MINAM el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próxima a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> <li>Comparar respecto al VR de riesgo potencial a la salud de la OMS el contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> </ul>	<p><b>Específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se detecta presencia de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> <li>El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el ECA de aguas superficiales para recreación del MINAM próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> <li>El contenido de Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo superan (incumplen) el VR de riesgo potencial a la salud de la OMS en el agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral, año 2021.</li> </ul>	<p><b>V2:</b></p> <p>Evaluación del contenido de metales pesados</p>	<p>Evaluación norma nacional</p> <p>Evaluación norma internacional</p>	<p>Comparación del contenido de metales pesados con el ECA del MINAM</p> <p>Comparación del contenido de metales pesados con el VR de la OMS</p>	<p>Nominal</p> <p>Nominal</p>	<p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b> <b>Población</b> Agua superficial próxima a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en período de estiaje, año 2021.</p> <p><b>Muestra.</b> 04 muestras de agua superficial próximas a la desembocadura del río Chancay, provincia de Huaral en julio del año 2021.</p> <p><b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b> • Observación – Ficha observación.</p>

## Anexo 2. Recolección de muestras



Figura 15. Muestreo, rotulación y ubicación muestra M1.



*Figura 16.* Muestreo, rotulación y ubicación muestra M2.

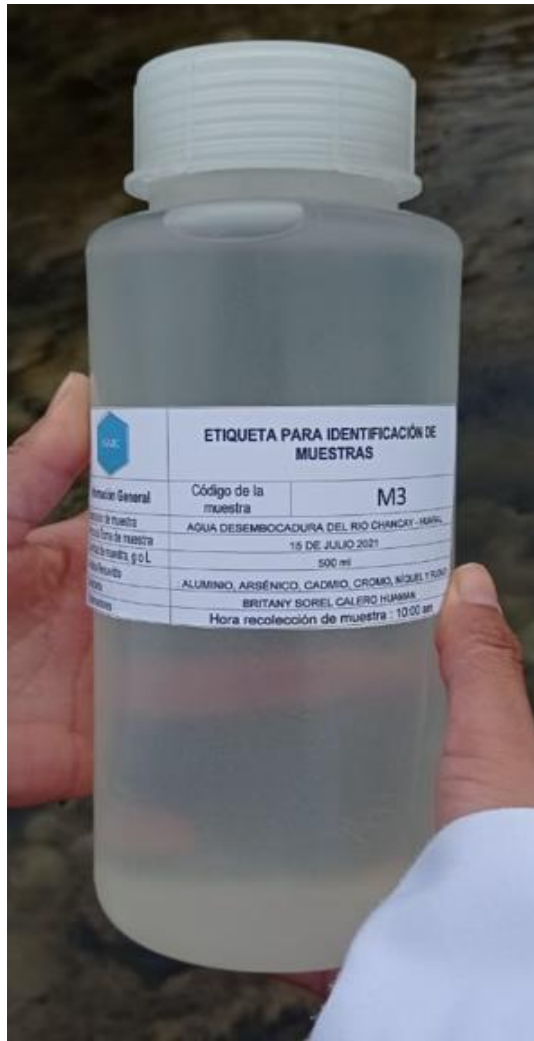
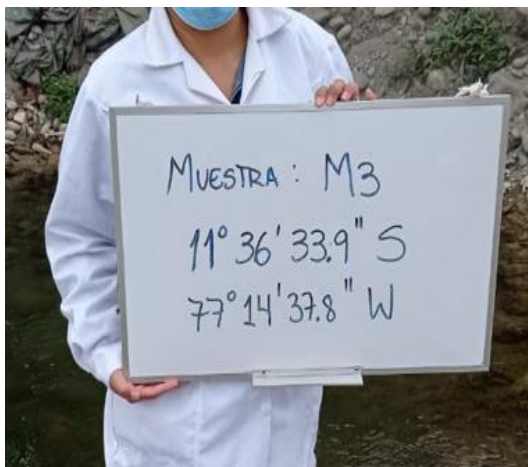
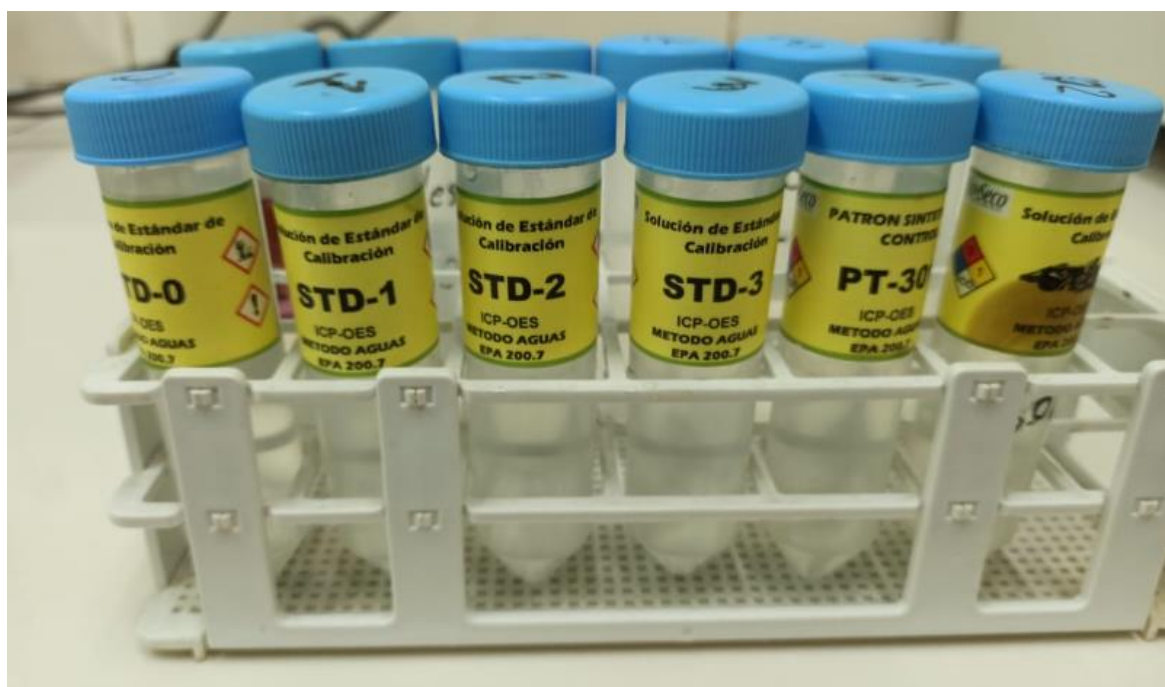


Figura 17. Muestreo, rotulación y ubicación muestra M3.



Figura 18. Muestreo, rotulación y ubicación muestra M4.

### Anexo 3. Equipos y materiales utilizados por el consultor





## Anexo 4. Informe de ensayo

# **INFORME DE ENSAYO**

IE – JGMT-0132-21

### **I. DATOS DEL CLIENTE**

Cliente: Britany Sorel Calero Huaman.

DNI: 70614190

### **II. FECHA DE MONITOREO**

Fecha de inicio: 15 de julio 2021.

Fecha de término: 15 de julio 2021.

Fecha de emisión de informe: 22 de julio 2021.

### **III. CONDICIONES DEL AMBIENTE**

Temperatura: 19 °C

### **IV. ENSAYO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

En Laboratorio, reporte sólo de los metales: Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo

### **V. DATOS DE LAS MUESTRAS PARA ANÁLISIS**

<b>Hora</b>	<b>Código muestra</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Detalle de la ubicación</b>
8:00 am	M1	Agua	11°36'31.1"S 77°14'31.9"W	Próximas a la desembocadura del río Chancay de Huaral
09:00 am	M2	Agua	11°36'33.5"S 77°14'33.2"W	
10:00 am	M3	Agua	11°36'33.9"S 77°14'37.8"W	
11:00 am	M4	Agua	11°36'36.2"S 77°14'40.9"W	

### **VI. RESULTADOS**

#### **Resultados de Laboratorio**

N°	Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4
01	Aluminio	mg/L	0,022	0,018	0,018	0,025
02	Arsénico	mg/L	0,047	0,024	0,002	0,028
03	Cadmio	mg/L	0,007	0,005	0,007	0,007
04	Cromo	mg/L	0,024	0,032	0,020	0,025
05	Níquel	mg/L	0,008	0,001	0,002	0,007
06	Plomo	mg/L	0,051	0,023	0,037	0,031

Resultados que corresponden a las muestras entregadas a Laboratorio (ICP-OES Spectro Arcos).

Atentamente.

  
-----  
JUAN GABRIEL  
MATIAS CASTILLO  
INGENIERO QUIMICO  
Reg. CIP N° 227032

**SOLUCIONES CORRECTAS EN PROCESOS INDUSTRIALES**