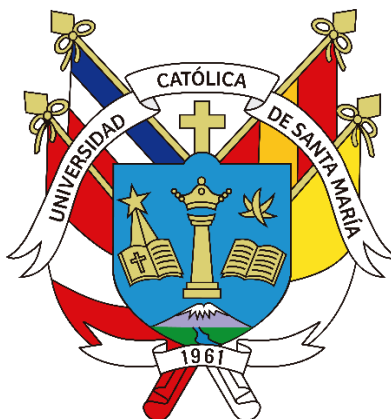


**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del**  
**Ambiente**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**



**Evaluación de la influencia estacional de la contaminación por metales pesados en sedimentos en la Cuenca Majes Camaná de la región Arequipa**

Tesis presentada por las Bachilleres:

**Cáceres Obada, María Claudia**

**ORCID: 0009-0004-0608-8231**

**Fernán-Zegarra Oliveira, María Eduarda**

**ORCID: 0009-0004-3113-1086**

para optar por el Título Profesional de **Ingeniera Ambiental**

**Asesor:**

**Dr. Jiménez Pacheco, Hugo Guillermo**

**ORCID: 0009-0001-5177-1126**

**Arequipa – Perú**

**2024**

UCSM-ERP

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 09 de Julio del 2024

**Dictamen: 011343-C-EPIA-2024**

Visto el borrador del expediente 011343, presentado por:

**2017800412 - CACERES OBADA MARIA CLAUDIA**

**2017243722 - FERNAN ZEGARRA OLIVEIRA MARIA EDUARDA**

Titulado:

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA ESTACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES  
PESADOS EN SEDIMENTOS EN LA CUENCA MAJES CAMANÁ DE LA REGIÓN AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA  
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA  
DICTAMINADOR**



**43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON  
DICTAMINADOR**



# Evaluación de la influencia estacional de la contaminación por metales pesados en sedimentos en la Cuenca Majes Camaná de la región Arequipa

## INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.ana.gob.pe">repositorio.ana.gob.pe</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositoriotec.tec.ac.cr">repositoriotec.tec.ac.cr</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.unam.edu.pe">repositorio.unam.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://revistas.unam.edu.pe">revistas.unam.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://revistas.uptc.edu.co">revistas.uptc.edu.co</a> Fuente de Internet	1%

## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, especialmente a mis padres César y Gloria por su constante apoyo desde el inicio de esta investigación y a lo largo de todos mis años de vida, a ellos por nunca dejar que me sienta sola y motivarme día a día a seguir creciendo. A mis hermanos, quienes son mi principal fuente de admiración e inspiración. Y una dedicatoria especial a mi angelito en el cielo, Louis.

**María Claudia Cáceres Obada**

A mi madre Zuleide y a mi hermana Anne, por ser el ejemplo más sobresaliente de resiliencia, coraje e integridad. Son mis “Maria” de las que habla Milton Nascimento.

**María Eduarda Fernán-Zegarra Oliveira**

## AGRADECIMIENTO

Nuestros más sinceros agradecimientos al Dr. Hugo Guillermo Jiménez Pacheco, quien a lo largo de esta investigación nos orientó y asesoró con sus conocimientos, al igual que un enorme agradecimiento a los miembros del proyecto de Bioindicadores, Naysha Meza, Jhon Quispe y Eric Vilca por ser una fuente constante de apoyo, colaboración y paciencia ya que, sin ellos tanta motivación no hubiera sido posible.

Quiero agradecer a mis amigos de la carrera, con quienes compartimos hermosas experiencias durante 5 años, incluso siendo los dos últimos años virtuales; por motivarnos los unos a los otros y por hacernos reír cada día incluso en los malos momentos. También me gustaría agradecerle a mi mayor fuente de alegría durante este año, el Hideduo.

**María Claudia Cáceres Obada**

A mi tío César, por su infinita generosidad y permitirme alcanzar este primer gran logro. A mi tía Ivette, que, aunque no compartamos un vínculo de sangre, su apoyo y cariño maternal han sido invaluable. A Guillermina, mi eterno agradecimiento por su incalculable bondad y ser parte vital en este proceso. A todas mis queridas amigas y amigos, por siempre estar en los mejores y peores momentos, ustedes son la familia que yo elegí. Y a mi fiel compañera durante las noches de desvelo, que nada más bastaba verte dormida en el sofá para no sentirme sola, gracias Ninita.

**María Eduarda Fernán-Zegarra Oliveira**

*Este trabajo fue subvencionado por el Vicerrectorado de investigación de la UCSM en el marco del concurso “Fondos para la investigación 2019”, según resolución 27403-R-2020.*

## RESUMEN

En el presente estudio se investigó la influencia estacional que tienen las épocas de estiaje y avenida respecto a la concentración y dinámica de siete metales pesados, Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) presentes en sedimentos superficiales del río Majes-Camaná. Las muestras de sedimento fueron recolectadas por triplicado en siete puntos de muestreo para ambos periodos hidrológicos a lo largo del río; siendo recolectadas en estiaje durante los meses de agosto y setiembre de 2022, y posteriormente entre enero y febrero de 2023 para avenida. Se tomaron las 21 muestras totales en cuatro puntos de muestreo en el río Majes y tres en el río Camaná de la región Arequipa, Perú. Tras el pretratamiento y el secado de las muestras, estas se tamizaron hasta 63µm para eliminar arena y otros materiales que pudieran interferir con los resultados. El análisis empleado en este estudio fue la técnica de espectroscopia de emisión óptica acoplado al plasma inductivamente (ICP-OES), mediante la cual se obtuvo que el zinc (Zn) es el metal con mayor concentración en todos los puntos para ambas épocas, con un valor máximo de 58.25 mg/kg estiaje y 49.82 mg/kg en avenida, mientras que el cadmio (Cd) registró los menores valores en la mayoría de los puntos para igual ambas temporadas; registrando así una concentración media de metales pesados en sedimentos con la siguiente tendencia en ambas estaciones: Zn > Cu > Cr > Ni > As > Pb > Cd.

Asimismo, la calidad de los sedimentos se evaluó con base al índice de geoacumulación (Igeo), el cual consideró al área de estudio entre no contaminada y ligeramente contaminada con unos valores promedio adquiridos dentro de la clase 0 y 1. Mientras que el índice de carga contaminante (PLI) reveló cierto riesgo de contaminación de Cu y Cr para estiaje y solo Cu en avenida, lo que indicó un origen en fuentes antropogénicas, principalmente la agricultura y la minería; las cuales fueron determinadas mediante mapas temáticos realizados con cartas nacionales y el software ArcGIS 10.8. En consecuencia, y en consideración de otros factores externos, se concluyó que las concentraciones de MP estuvieron influenciadas mayormente por actividades humanas al rededor del río que por la presencia o ausencia de precipitaciones como tal en la Cuenca Majes-Camaná.

**Palabras clave:** Metales pesados, sedimentos, influencia estacional

## ABSTRACT

In the present study, the seasonal influence that the dry and wet seasons have concerning the concentration and dynamics of seven heavy metals, Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chromium (Cr), Copper (Cu), Nickel (Ni), Lead (Pb) and Zinc (Zn) present in surface sediments of the Majes-Camaná River. Sediment samples were collected in triplicate at seven sampling points for both hydrological periods along the river, being collected in the dry season during August and September 2022, and later between January and February 2023 for avenues. A total of 21 samples were taken at four sampling points in the Majes River and three in the Camaná River in the Arequipa region, Peru. After pretreatment and drying of the samples, they were sieved up to 63 $\mu$ m to eliminate sand and other materials that could interfere with the results. The analysis used in this study was the inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES) technique, through which it was obtained that zinc (Zn) is the metal with the highest concentration at all points for both periods, with a maximum value of 58.25 mg/kg in the dry season and 49.82 mg/kg in wet, while cadmium (Cd) recorded the lowest values in most points for both seasons; thus recording an average concentration of heavy metals in sediments with the following trend in both seasons: Zn > Cu > Cr > Ni > As > Pb > Cd.

Likewise, the quality of the sediments was evaluated based on the geoaccumulation index (Igeo), which considered the study area between uncontaminated and slightly contaminated with average values acquired within classes 0 and 1. While the Pollutant load (PLI) revealed a certain risk of contamination of Cu and Cr for low water and only Cu for wet, which indicated an origin in anthropogenic sources, mainly agriculture and mining; which were determined using thematic maps made with national charts and ArcGIS 10.8 software. Consequently, and in consideration of other external factors, it was concluded that PM concentrations were influenced mostly by human activities around the river rather than by the presence or absence of precipitation in the Majes-Camaná Basin.

**Keywords:** Heavy metals, sediments, seasonal influence

## ÍNDICE

RESUMEN .....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.2.1. Ambiental.....	5
1.2.2. Social.....	6
1.2.3. Económica.....	7
1.2.4. Teórica .....	8
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.3.1. Objetivo general.....	9
1.3.2. Objetivos específicos .....	9
1.4. HIPÓTESIS.....	10
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>2</b>
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	3
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
2.2. MARCO TEÓRICO.....	13
2.2.1. Cuenca hidrográfica .....	13
2.2.2. Análisis estacional.....	14
2.2.3. Contaminación del agua.....	14
2.2.4. Calidad del agua superficial .....	16
2.2.5. Metales pesados .....	18

2.2.6. Sedimentos.....	23
2.2.7. Índices y factores de evaluación de la contaminación .....	25
2.2.8. Análisis estadístico.....	27
2.3. MARCO LEGAL.....	30
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>31</b>
3. METODOLOGÍA .....	32
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.2. VARIABLES .....	32
3.3. ÁREA DE ESTUDIO .....	33
3.3.1. Cuenca Majes-Camaná .....	33
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
3.5. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	36
3.5.1. DETERMINACIÓN DEL SITIO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS .....	36
3.5.2. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	38
3.5.3. EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS .....	38
3.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	41
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>43</b>
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.1. Determinación de los puntos de recolección de sedimentos en la cuenca Majes-Camaná .....	44
4.2. Determinación de la concentración de metales pesados acumulados en sedimentos.....	50
4.2.1 Determinación de los parámetros fisicoquímicos época de estiaje y avenida en la cuenca Majes-Camaná .....	55
4.2.2. Relación de datos con la Guía de calidad ambiental canadiense (CEQG) - Línea guía para la calidad de sedimentos en aguas continentales.....	57
4.3.1. Determinación del índice de geo-acumulación ( $I_{geo}$ ) para los resultados de concentración de metales pesados en la época de estiaje y avenida.....	59

4.3.2. Determinación de índice de carga contaminante (PLI) para los resultados de concentración de metales pesados en la época de estiaje y avenida .....	61
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	63
4.4.1. Análisis de varianza, concentración media y desviación estándar.....	63
4.4.2. Análisis de correlación de Pearson (CA).....	65
4.4.3. Análisis de conglomerados (clusters) y análisis de componentes principales (PCA).....	677
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos generales de contaminantes del agua.....	15
Tabla 2. Definición de parámetros fisicoquímicos .....	17
Tabla 3. Descripción de los principales metales pesados .....	19
Tabla 4. Clasificación del Igeo .....	26
Tabla 5. Tabla de operacionalización de variables .....	32
Tabla 6. Ubicación de la cuenca Camaná-Majes-Colca.....	33
Tabla 7. Unidades hidrográficas dentro de la zona de influencia seleccionada.....	34
Tabla 8. Determinación de los puntos de muestreo en época de avenida y estiaje.....	36
Tabla 9. Guía de Calidad Ambiental Canadiense – Valores guía para sedimentos .....	39
Tabla 10. Criterios de calificación para el índice de geoacumulación.....	40
Tabla 11. Niveles de contaminación según su Índice de Carga Contaminante.....	40
Tabla 12. Resultados del ICP-OES de concentración metales pesados por punto de muestreo en la época de estiaje .....	50
Tabla 13. Resultados del ICP-OES de concentración metales pesados por punto de muestreo en la época de avenida .....	52
Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos en época de estiaje y avenida en la Cuenca Majes-Camaná.....	55
Tabla 15. Concentración de MP en sedimentos en referencia a la CEQG-Estiaje.....	57

Tabla 16. Concentración de MP en sedimentos en referencia a la CEQG-Avenida .....	58
Tabla 17. Valores de factor de índice de geo acumulación (Igeo) por metal pesado en épocas de estiaje y avenida .....	60
Tabla 18. Comparación de niveles de fondo de MP de tres referencias respecto al Igeo del río Majes-Camaná en época de estiaje .....	60
Tabla 19. Comparación de niveles de fondo de MP de tres referencias respecto al Igeo del río Majes-Camaná en época de avenida .....	61
Tabla 20. Valores de los índices de factor de contaminación PLI en épocas de estiaje y avenida .....	62
Tabla 21. Comparación de PLI con tres distintas referencias de niveles de fondo para el río Majes-Camaná .....	62
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) de concentración de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos de la cuenca hídrica Majes - Camaná.....	63
Tabla 23. Concentración media (mg/kg) y desviación estándar (SE) de los metales pesados.....	64
Tabla 24. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre metales pesados en muestras de sedimento de la cuenca Majes-Camaná .....	65
Tabla 25. Componentes principales de los metales pesados medidos en la época de estiaje con matriz de correlación.....	67
Tabla 26. Componentes principales de los metales pesados medidos en la época de avenida con matriz de correlación.....	68
Tabla 27. Análisis de conglomerados k-medias de la época de estiaje.....	69
Tabla 28. Análisis de conglomerados k-medias de la época de avenida.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de una cuenca hidrográfica .....	13
Figura 2. Gráfico ilustrativo de un ecosistema lótico .....	18
Figura 3. Fuentes potenciales de metales pesados en el medio ambiente .....	19
Figura 4. Equipo ICP-OES .....	29
Figura 5. Puntos de muestreo seleccionados en el río Majes-Camaná.....	35
Figura 6. Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo de la cuenca Majes-Camaná .....	37
Figura 7. Mapa de catastro minero en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná).....	45
Figura 8. Mapa de cobertura vegetal en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná).....	47
Figura 9. Mapa de centros poblados en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná) .....	49
Figura 10. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de metales pesados en estiaje .....	51

Figura 11. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de metales pesados en avenida .....	52
Figura 12. Diagrama de dispersión para análisis de componentes principales de la época de estiaje .....	68
Figura 13. Diagrama de dispersión para análisis de componentes principales de la época de avenida .....	69
Figura 14. Agrupamiento jerárquico por correlación de los metales pesados en la época de estiaje.....	70
Figura 15. Agrupamiento jerárquico por correlación de los puntos de muestreo en la época de estiaje ....	70
Figura 16. Agrupamiento jerárquico de los metales pesados en la época de avenida.....	71
Figura 17. Agrupamiento jerárquico de los puntos de muestreo en la época de avenida .....	72
Figura 18. Mapa de fracción de cobertura vegetal (FCV) de la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná).....	73

## ÍNDICE DE ANEXOS

### ANEXO 1: PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA AVENIDA Y ESTIAJE

Tabla A 1. Parámetros fisicoquímicos en época de estiaje y avenida en la Cuenca Majes-Camaná por triplicado.....	91
--	----

### ANEXO 2: CONCESIONES MINERAS EN LA CUENCA MAJES-CAMANÁ

Tabla A 2. Número de concesiones en el catastro minero del río Majes-Camaná 2023.....	92
Tabla A 3. Yacimientos mineros en la cuenca Majes-Camaná 2021.....	95

### ANEXO 3: COBERTURA VEGETAL Y CENTROS POBLADOS EN LA CUENCA MAJES-CAMANÁ

Tabla A 4. Cobertura vegetal en la cuenca Majes-Camaná, en el río Majes y Camaná .....	96
Tabla A 5. Centros poblados en la cuenca Majes-Camaná, río Majes y Camaná.....	96

### ANEXO 4: GRAFICOS DE INTERVALOS ENTRE LAS TEMPORADAS DE ESTIAJE Y AVENIDA PARA LAS MEDIAS DE CADA UNO DE LOS METALES DE ESTUDIO EVALUADOS AL 95% IC EN EL SOFTWARE MINITAB

### ANEXO 5: FOTOS TOMADAS EN LABORATORIO

Tabla A 6. Fotos de la secuencia del pretratamiento realizado en el laboratorio de la UCSM....	102
--	-----

### ANEXO 6. GUÍA DE AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA PARA LA CALIDAD DE SEDIMENTOS

Tabla A 7. Valores guía predeterminados de tóxicos recomendados para la calidad del sedimento .....	105
---	-----

### ANEXO 7. INFORMES DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE LA UCSM – ICP-OES

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados en sedimentos es un problema ambiental significativo que afecta la calidad de los ecosistemas acuáticos a nivel mundial. Específicamente en el Perú, esta situación se ve agravada debido a diversas actividades antropogénicas como la minería, la agricultura intensiva y la industria en general; así como los lixiviados domésticos vertidos, las cuales liberan metales tóxicos al medio ambiente y a sus componentes tales como a los cuerpos de agua. Diversos estudios han demostrado que estos metales no permanecen en la columna de agua, sino que se asientan en los sedimentos a través de procesos de floculación (Zhao et al., 2018); por ejemplo, la presencia de metales como el cadmio (Cd) en altos niveles en los sedimentos puede indicar una fuente de contaminación activa y sostenida, aunque no siempre se observa en todos los estudios (Zhao et al., 2018) y, según Alloway (2013), estos componentes tóxicos pueden estar también presentes en fuentes y procesos naturales que tienen participación en el aumento de la concentración de los mismos como las diferencias estacionales, el incremento del nivel de precipitación correspondiente a los meses de avenida, entre otros.

El análisis de los sedimentos es una herramienta sumamente importante ya que permite evaluar la acumulación y dispersión de estos metales, brindando información crucial para la gestión y mitigación de la contaminación. Según Marín (2003), los sedimentos actúan como reservorios temporales o permanentes de contaminantes, liberando metales bajo ciertas condiciones ambientales, por lo que la óptima identificación de las fuentes antrópicas de metales pesados, tales como la minería, la agricultura y lixiviados industriales y/o domésticos, es esencial para desarrollar estrategias efectivas de remediación y protección de los recursos hídricos.

Es por lo anteriormente expuesto que el presente estudio se centra en la evaluación de la concentración de metales pesados en los sedimentos del río Majes-Camaná mediante exhaustivas pruebas y metodologías certificadas, con el objetivo de identificar las principales fuentes de contaminación y sus implicaciones ambientales; así como evaluar si el factor estacional juega un rol importante en la presencia de los mismos, un aspecto crucial para entender la dinámica de la contaminación en la cuenca y proporcionar información valiosa para el desarrollo de estrategias de gestión ambiental ya que, al identificar también patrones estacionales en la contaminación por metales pesados, se podrán implementar medidas de mitigación más efectivas y promover la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región. La investigación contribuirá, además, a la literatura científica sobre la influencia de factores estacionales en la contaminación de sedimentos, ofreciendo una perspectiva holística.



## CAPÍTULO I

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú destacan dos actividades productivas que aprovechan los recursos naturales para ser motor del desarrollo económico nacional; primero está la industria minera, la cual se beneficia de la alta riqueza mineral polimetálica presente en todas las regiones geográficas, y la otra es la agricultura, debido a la variedad de condiciones climáticas sumadas a la diversidad de pisos altitudinales en el país (Guerrero Padilla, A. M., et al, 2019). En minería, el país está posicionado entre los diez principales productores de metales básicos y preciosos a nivel mundial, siendo el segundo productor mundial de cobre, tercero en plata, cuarto en plomo, sexto en oro, entre otros, representando aproximadamente el 64% de las exportaciones del país y cerca del 10% del Producto Bruto Interno (PBI) nacional para el año 2022 (RREE, 2022a). Por otro lado, la agricultura, es una actividad no solo económicamente, sino histórica y socialmente importante, pues actualmente además de representar el 6% del Producto Bruto Interno (PBI), también genera varios puestos de trabajo, albergando al 24% de la Población Económicamente Activa (PEA), lo cual equivale a 4 millones de empleos a nivel nacional (RREE, 2022b).

Sin embargo, a pesar de estos beneficios, hace varios años, producto de los intereses y la demanda nacional e internacional, se ha observado un incremento desmesurado de estas y otras actividades productivas, no solo en el norte del país, sino también en la región Arequipa y, específicamente en nuestra área de estudio, la cuenca Majes-Camaná, donde datos recientes indican el registro de 579 nuevas concesiones mineras desde el año 2013 hasta la actualidad (entre titulados, en trámite y extinguidos), las cuales representan el 69% de su total histórico (GEOCATMIN, 2023); asimismo, se conoce que más de 46,328 hectáreas de la cuenca son utilizadas con fines agrícolas (MINAM, 2015), además de existir una anunciada expectativa en los proyectos de Majes Siguan II, que supondrá una superficie de 38,500 hectáreas nuevas para los siguientes años (RREE, 2022b). Estos datos son problemáticos por su magnitud, ya que se traducen a liberación de contaminantes al ambiente y que, sumado al constante incremento de centros poblados, hacen que el ecosistema de la cuenca se encuentre en una situación altamente vulnerable a la degradación ambiental.

La cuenca Majes-Camaná, ubicada en el departamento de Arequipa, Perú, junto a los ríos que la conforman, son unidades hidrográficas de gran importancia ambiental y económica, que alberga una amplia biodiversidad de especies de flora y fauna, destacando el “camarón de río” (*Cryphiops caementarius*) (Wasiw, J. & Yépez, V., 2015) además de brindar distintos servicios ecosistémicos para la población. Por esta razón, es de alta urgencia enfatizar el impacto ambiental causado por

todas las etapas y procesos de las actividades productivas mencionadas, ya que sumada a otros procesos naturales, indiscutiblemente alteran la calidad de agua de los ecosistemas lóticos, registrando mayor concentración de metales pesados, eutrofización y otros fenómenos que en conjunto representan no solo una amenaza para la biodiversidad acuática, sino también para la sostenibilidad de las actividades económicas y la salud humana de las comunidades locales.

La problemática de esta investigación radica así principalmente en la alta vulnerabilidad de la cuenca Majes-Camaná a la contaminación por metales pesados, los cuales según Rebollo Salinas (2022), constituyen uno de los contaminantes ambientales más alarmantes debido a sus características de persistencia, toxicidad, no biodegradabilidad y potencial de biodisponibilidad en el medio, es decir, la capacidad para incorporarse a la red trófica de los ecosistemas, mediante transferencia y biomagnificación cuando estos ingresan del medio abiótico al biótico. Especialmente, los ríos Camaná y Majes, geográficamente tienen una mayor exposición a las principales fuentes de contaminación; actividades mineras, industriales, agrícolas y urbanas, las cuales liberan metales pesados como arsénico, cadmio, plomo, mercurio, y otros, en sus aguas superficiales (ANA, 2015). Lo cual, junto a los procesos geológicos naturales, la erosión del suelo, la biomagnificación, el ciclo hidrológico del agua y el transporte de sedimentos, contribuyen a la dispersión de estos metales pesados, incluso en zonas previamente no afectadas.

Debido a los procesos naturales mencionados, una evaluación estacional de contaminación por metales pesados es esencial para comprender la dinámica de estos contaminantes en las dos épocas del ciclo hidrológico, avenida o crecida y estiaje; Sojka, M., et al (2018) indica que durante los periodos de avenida, las altas precipitaciones y aumento del caudal pueden acelerar la movilización de metales pesados depositados en el lecho de los ríos y en las orillas, incrementando su concentración y transporte hacia aguas abajo. En estiaje surgen también preocupaciones ya que la disminución del caudal puede concentrar los metales pesados en puntos focales del río, como sumideros y zonas de menor movimiento del agua, favoreciendo la acumulación y retención de los contaminantes en el lecho del río (Baird, C. et al., 2013). En ambas épocas existen riesgos de acumulación de metales pesados en sedimentos, aumentando su difusión y por lo tanto exposición de la población y la biodiversidad acuática a concentraciones elevadas de metales tóxicos. Así, un diagnóstico estacional de la zona es clave para generar resultados comparativos base que aporten información para futuros estudios y planes de remediación para la cuenca Majes-Camaná e incluso otras unidades hidrográficas de tendencias climáticas y factores externos similares.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Ambiental

En los últimos años, la cuenca Majes-Camaná se ha ido degradando como consecuencia a las diversas actividades antropogénicas desarrolladas a lo largo de la cuenca, debido principalmente a sus procesos de contaminación. Destacando que dicha cuenca pertenece al Proyecto Especial Majes Siguan, el cual hasta el año 2000 destinó más de 15 000 ha a la actividad agrícola, siendo el principal cultivo del área del proyecto Pampa de Majes la alfalfa; la bibliografía afirma que los impactos ambientales por el uso agrícola son consecuencia del mal manejo del agua para riego, derivando en la erosión de suelos y lixiviación de elementos tóxicos presentes en fertilizantes y agroquímicos (ANA, 2015).

De acuerdo a la ANA (2015), la actividad minera en la cuenca Majes-Camaná se desarrolla principalmente en las provincias de Caylloma (Minas Madrigal y Caylloma) y Castilla (Minas de Orcopampa) a nivel de Mediana Minería; sin embargo, también contribuye la existencia de considerables explotaciones mineras informales de pequeña escala, que resulta en alteraciones de la dinámica fluvial, contaminación por metales pesados y metaloides; así como variaciones del pH por el drenaje ácido de mina en mina. Como consecuencia de la intensa actividad minera, en la cuenca existen numerosos pasivos ambientales que constituyen un riesgo de contaminación a las aguas superficiales y subterráneas gracias a la integración y aporte de elementos y sustancias ya sean de origen natural presentes en la mina, o de sustancias químicas y reactivos utilizados en la transformación de los minerales tales como el cianuro, ácido sulfúrico, nitratos, entre otros.

Asimismo, cabe resaltar que algunas municipalidades distritales vierten, sin previo tratamiento, las aguas residuales domésticas al cauce del río Majes y río Camaná, posibilitando que las aguas retorno no cumplan con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la normativa vigente (ANA, 2015). Todo lo anteriormente expuesto interfiere directamente en la calidad del agua y; en consecuencia, lixiviados industriales y agrícolas logran depositarse en el fondo de la masa de agua, posteriormente ingresando en los sedimentos y consecuentemente; estos sedimentos receptores se convierten en su principal medio de transporte, generando un ciclo infinito de contaminación al desembocar en otro cuerpo de agua y así consecutivamente, lo que se conoce como ciclos hidrogeológicos responsables de la contaminación de aire, suelos y agua (Rodríguez et al., 2016).

Reconociendo los servicios ecosistémicos que brindan el río Majes y el río Camaná, así como su

amplia demanda para el uso poblacional y productivo; además de ser considerado el hábitat de especies de gran importancia biológica como el “camarón de río” (*Cryphiops caementarius*) (Wasiw, J. & Yépez, V., 2015) y poseer dos áreas naturales protegidas de ámbito nacional localizadas en las partes altas; la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, y la Reserva Paisajística Sub Cuenca del Cotahuasi, el presente trabajo contribuirá al realizar un diagnóstico actual de la calidad del agua de la cuenca Majes-Camaná bajo una perspectiva de análisis multiestacional de la contaminación por metales pesados a lo largo de la avenida y estiaje, con el objetivo de brindar una visibilidad más amplia y brindar una base de datos relevante (resultados) que permita un manejo y control adecuado del recurso.

### 1.2.2. Social

La cuenca Majes-Camaná está ubicada, prácticamente en su totalidad, en el departamento de Arequipa, seguida de los departamentos de Cusco y Puno. Según el último informe del INEI (2020), dicha cuenca alberga una población de 121 572 habitantes, con un total de 10883 centros poblados distribuidos en la provincia de Caylloma (42.3%), Castilla (40.4%), Camaná (10.2%) y finalmente Condesuyos (5.6%) concentrados principalmente en la zona media y media-baja de la cuenca destacando el pueblo de Orcopampa, Aplao en la provincia de Castilla y Chuquibamba en la provincia de Condesuyos; haciendo que la zona por analizar del presente estudio sea la segunda más poblada.

La contaminación del río Majes y río Camaná por metales pesados es responsable del descenso en los niveles de salud pública y comprometen la seguridad alimentaria de la población (EFSA, 2015; Huang et. al, 2014). Diversos estudios afirman mayor incidencia en reportes de metales pesados y metaloides como el arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Singh et. al, 2010; Chen et. al, 2013) a causa del uso para riego de aguas afectadas (Singh et. al, 2010; Fransisca et. al, 2015; Li et. al, 2015); así como en especies de peces, carnes y leche debido a una bioacumulación y movilidad desde el ambiente a las fuentes hídricas (Singh et al, 2010; Li et al, 2015).

Además de regar los campos, los agricultores y otras personas que trabajan y viven en estos distritos de riego utilizan el agua para las necesidades del hogar, incluso como fuente de agua potable; explicado por el descenso de la altitud desde los 4886 m en su cabecera hasta el nivel del mar en el Océano Pacífico, en la región desértica existen varios distritos extensos de riego alimentados por gravedad, incluidos los distritos de Majes (23 000 ha) y La Joya (8 000 ha) (ANA, 2015). Los

metales pesados destacan por su alta toxicidad y causan un impacto negativo directo en la salud humana en casos de exposición prolongada e introducción a la cadena alimenticia y, por consiguiente, bioacumulación debido a la ingesta de alimentos contaminados produciendo desde daños en órganos vitales hasta desarrollos cancerígenos (Combariza, 2009; Nava-Ruíz & Méndez Armenta 2011), e incluso reportes de osteoporosis afectando el tejido óseo (Sánchez et. al., 2010).

Por lo anteriormente explicado, es indispensable recolectar datos actuales que permitan el óptimo diagnóstico actual de la calidad del agua de los ríos Majes y Camaná, identificar las fuentes de contaminación y evitar las consecuencias que la exposición de la población a alimentos contaminados y cuerpos de agua en mal estado trae consigo.

### 1.2.3. Económica

A escala provincial, las actividades predominantes de la población económicamente activan corresponden a la agricultura, la pesca y la minería, ya que emplean la mayor parte de fuerza laboral en estas actividades (ANA, 2015). En cuanto a la actividad agrícola, en Camaná, el cultivo del arroz representa actualmente casi el 90% de su producción total y, por otro lado, en el valle de Majes los cultivos más sembrados en la campaña principal son el arroz, alfalfa, maíz Chala, caña de azúcar, maíz grano, tomate y cebollas frutales (ANA, 2015); representando una actividad de importancia económica que requiere alcanzar un estándar de calidad y, al ser regados con agua contaminada con metales pesados, la calidad de los cultivos se verá afectada.

Por otro lado, la actividad pesquera en los ríos Majes y Camaná se enfoca principalmente en el camarón de río (*Cryphiops caemantarius*), y constituye una de las principales fuentes de trabajo directo para más de 600 familias (2800 pobladores), e indirecto (acopiadores, comerciantes de camarón, etc.); así como a la comercialización de insumos, equipos y materiales de la pesca general. Existe un aproximado de 642 pescadores de camarón agrupados en 15 asociaciones, de las cuales 569 pescan diariamente, y existen también asociaciones de crianza de trucha (*Orcorhynchus mykiss*) de uso piscícola formados por los mismos lugareños del sector que se encuentra en las lagunas de Chila y la laguna de Samacota, en Tisco (ANA, 2015); por lo cual especies de peces como la trucha y camarón del río recuperados de un cuerpo de agua en mal estado afectará la calidad de la pesca y por ende, los ingresos de la población se verán afectados.

Finalmente, el turismo en la cuenca Camaná-Majes-Colca se basa sobre todo en la explotación de los recursos del valle del Colca y del valle de los volcanes. En los últimos años las visitas turísticas

al Valle del Colca se han incrementado notoriamente, con un 67% de visitantes extranjeros y un 33% de visitantes nacionales especialmente en los meses de julio a octubre (ANA, 2015). El principal motivo para visitar el Colca está en la belleza de sus paisajes (78%), así como las zonas propicias para el deporte de aventura, el canotaje y la práctica del parapente (ANA, 2015), por lo cual un cuerpo de agua en mal estado repercute negativamente en la productividad agrícola, minera, pesquera, y el crecimiento económico.

#### 1.2.4. Teórica

Actualmente existe una falta de investigaciones que evalúen estacionalmente la presencia de metales pesados en cuencas y unidades hidrográficas, como la cuenca Majes-Camaná; no solo mediante una evaluación por acumulación en sedimentos, sino con todos los posibles bioindicadores, lo cual representa una brecha significativa en el conocimiento ambiental de la región Arequipa en comparación con el norte del Perú y más aún a nivel mundial. Por lo que es necesario generar mayor número de investigaciones que aporten información base, a la par que promuevan futuros estudios y planes de remediación para la cuenca Majes-Camaná e incluso otras zonas con tendencias climáticas y factores externos similares.

Adicionalmente, este diagnóstico estacional está basado en la importancia de comprender la dinámica de contaminantes y la influencia de los eventos hidrológicos en la dispersión y toxicidad de los metales pesados en sedimentos, de manera que los resultados obtenidos contribuirán a darle relevancia a estos factores en la toma de decisiones de autoridades nacionales y locales, logrando así una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos en la región, que protejan los ecosistemas lóticos y la salud de las comunidades locales.

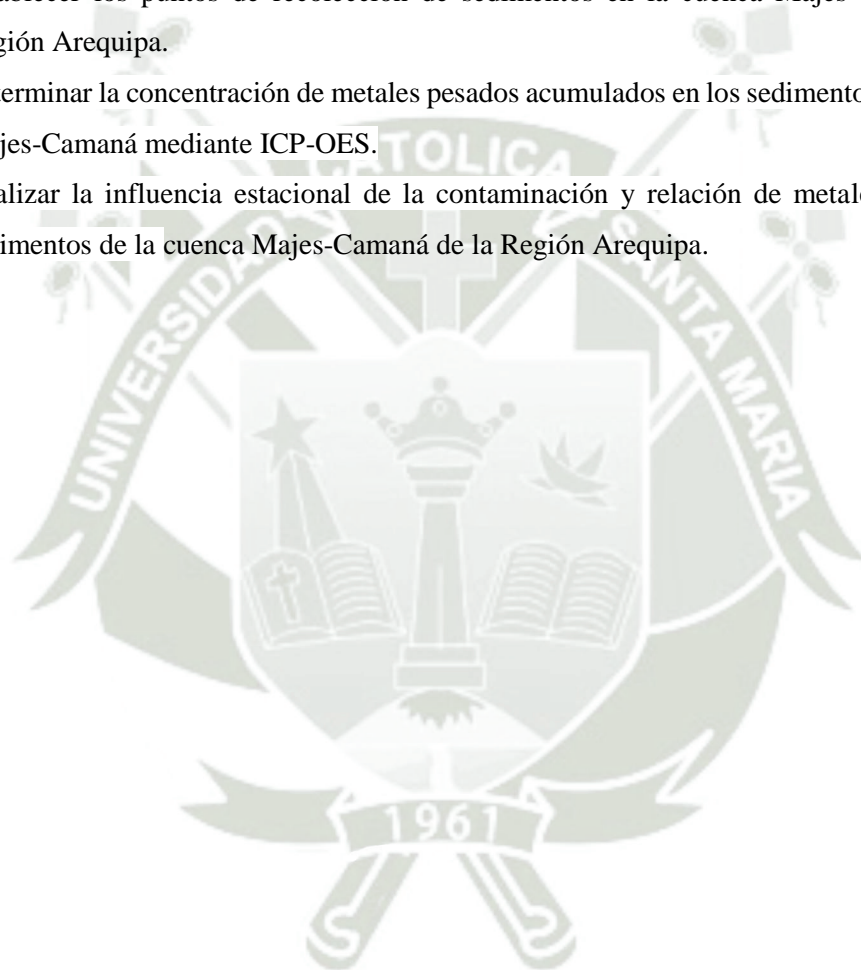
### 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia estacional de la contaminación por metales pesados en sedimentos presentes en la cuenca Majes-Camaná.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los puntos de recolección de sedimentos en la cuenca Majes-Camaná de la Región Arequipa.
- Determinar la concentración de metales pesados acumulados en los sedimentos de la cuenca Majes-Camaná mediante ICP-OES.
- Analizar la influencia estacional de la contaminación y relación de metales pesados en sedimentos de la cuenca Majes-Camaná de la Región Arequipa.



#### 1.4. HIPÓTESIS

Dada la alta incidencia de actividades productivas como la minería y agricultura a lo largo de la cuenca Majes-Camaná, es posible que al evaluar la influencia estacional se pueda comprender el comportamiento de la contaminación por metales pesados en sedimentos de dicha cuenca mediante un análisis de correlación, de componentes principales y factorial; y se genere información relevante que se podría utilizar para futuras estrategias de remediación y sostenibilidad en la Región de Arequipa.





## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1. Escala internacional

Saiful, M., et al. (2014) realizaron un estudio cuyo principal objetivo fue evaluar el nivel de contaminación y variación estacional de los metales pesados (Cr, Ni, Cu, As, Cd y Pb) y su riesgo ecológico en los sedimentos recolectados de ocho sitios diferentes del río Paira situado en la parte sur de Bangladesh. Para esto, los metales se midieron utilizando un espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente, así como el cálculo del Índice de Carga Contaminante (IPL) y el Riesgo Ecológico Potencial (PER). Los objetivos brindaron que las concentraciones de metales en los sedimentos fueron mayores en la temporada de invierno, además de sugerir que los metales seleccionados crearon un efecto adverso en los ecosistemas acuáticos del cuerpo de agua analizado; el IPL de tres puntos de muestreo fue superior a los valores de referencia, lo que indica un deterioro progresivo de los sedimentos por metales pesados; y finalmente, los riesgos ecológicos potenciales de los metales en los sedimentos indicaron un riesgo de moderado a considerable.

La evaluación de metales pesados en sedimentos superficiales es un tópico constantemente analizado a nivel mundial, todas con el fin de determinar la calidad de agua para poder remediar estos mismos cuerpos de agua, y es por ello que se generan investigaciones como la ejecutada por Pernía et al. (2018), cuyo estudio fue identificar metales pesados (Cd y Pb) en organismos bioindicadores de contaminación (sedimentos, agua superficial y organismos como especies de hojas de mangles y gasterópodos) en el Estero Salado, Guayaquil-Ecuador. Para esto, se seleccionaron ocho puntos de muestreo, de los cuales 4 se ubicaron en zonas de manglar y 4 cercanas al puente donde no había vegetación para determinar el efecto del manglar sobre la biodisponibilidad de los metales en el sedimento. Para esto, los sedimentos fueron tomados a una profundidad superficial de aproximadamente 5-10 cm, secadas a temperatura ambiente y tamizadas; para su posterior digestión, midiendo también los parámetros fisicoquímicos de pH, T° y salinidad in situ. Los resultados mostraron altas concentraciones de Cd y Pb en el agua, sedimentos y organismos de la zona de estudio, y los autores afirman que probablemente se deba a la gran cantidad de empresas que se encuentran en los alrededores del estero y que liberan sus aguas servidas al mismo sin tratamiento previo, así como al mal manejo de los desechos sólidos. Cabe destacar que la normativa base para el presente estudio fue la “Canadian Sediment Quality Guidelines”.

Posteriormente, el estudio de Castro Gonzáles, N. et al., (2019) tuvo como principal objetivo

determinar si los metales pesados (Cd, Pb, Ni, Cu, Co, Cr, Zn y As) contenidos en los suelos agrícolas irrigados con aguas residuales eran de origen antrópico o natural, mediante el cálculo del índice de geoacumulación y el factor de enriquecimiento a partir del contenido de metales pesados en los suelos irrigados con las aguas residuales de los ríos Atoyac y Zahuapan, así como el canal de Valsequillo-México. Para esto, se recuperaron muestras de agua residual y suelo en 16 sitios agrupados en cuatro zonas en dos estaciones (verano y primavera) mediante la metodología de espectrómetro de emisión óptica de plasma con acoplamiento inductivo (ICP-OES). Los resultados mostraron que el río Atoyac presenta la mayor concentración de Pb y; además, los metales en agua no rebasaron los niveles permitidos por la NOM-001-ECOL-1996 y las reglas del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, y solamente el valor del Cu fue superior al establecido por la legislación de España. Por otro lado, el Cd fue el metal de mayor geoacumulación según el cálculo de su índice.

En el mismo año, Muñiz, P., et al. (2019) midieron la concentración y nivel de contaminación de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Sc, Al, Fe y Mn) en sedimentos superficiales de la zona costera de Montevideo (estuario del Río de la Plata)-Argentina, en un total de 18 sitios; para lo cual se analizaron las fracciones de sedimentos, el contenido de materia orgánica y las concentraciones de metales pesados. Los resultados mostraron que en el área de estudio el aporte de arena fue bajo, con excepción de la región más interna de la Bahía de Montevideo en la desembocadura de los arroyos Miguelete y Pantanoso; los contenidos de materia orgánica total fueron en general altos, y los valores son típicos de ecosistemas estuarinos, de baja energía y antropizados, siendo el metal de mayor concentración el Zinc.

Yuan, P., et al. (2020) recolectaron sedimentos superficiales en seis puntos del embalse de Qingcaosha, el más grande embalse incrustado en un río en China, e investigó la distribución espacial, el riesgo y las fuentes de metales pesados en cuatro estaciones. Para esto, los autores calcularon el Índice de geoacumulación (Igeo) y el Factor de Enriquecimiento (EF), los cuales sugirieron que la contaminación de sedimentos causada por un solo metal fue mayor en verano que en otras estaciones; además, los autores también realizaron el cálculo del índice de contaminación de Nemerow (PIN), el cual indicó que la contaminación sinérgica inducida por cinco metales fue más grave en el verano, seguido de la próxima primavera. Por otro lado, el índice de riesgo ecológico potencial (PERI) indicó que ninguno de los metales causó riesgo ecológico potencial en las cuatro temporadas. Finalmente, se concluyó que la principal fuente de contaminación de cinco metales pesados puede provenir de industrias aguas residuales y aguas residuales domésticas, que

era casi independiente de las estaciones, es decir, más allá de las diferencias estacionales.

En Costa Rica, específicamente la provincia de Cartago, Vega, C. (2021) realizó una evaluación de la calidad de la subcuenca del río Birrís en cuanto a su contenido de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Hg) a través del análisis de muestras de agua y sedimento provenientes de su cauce mediante el cálculo de índices de contaminación (el Coeficiente de las Pautas para la Calidad de los Sedimentos (SQG-Q) y las Unidades toxicológicas (UT) para los sedimentos, así como el Grado de Contaminación (CD) para las aguas). Los resultados mostraron que las muestras de agua superaron los valores de referencia brindados para el Cu y el Ni por el Reglamento para la Calidad del Agua Potable en el punto de muestreo “sitio Birrís 4”, mientras que el valor establecido para la clasificación de aguas Clase 1 por el reglamento para la Evaluación y Clasificación de Cuerpos de Aguas Superficiales fue superado en el parámetro de Cu. El CD indicó contaminación moderada para las muestras tomadas en el sitio Birrís 4; los coeficientes SQG-Q mostraron contaminación moderada con Cu, Ni y Cr para todos los sitios de muestreo, así como para cinco sitios con As. Finalmente, las UT determinaron al Cu y al Ni como los mayores contribuidores a la contaminación determinada en los sedimentos. Se encontró la presencia de As, Cr, Cu y Ni, en un 13,6 % de las muestras analizadas de agua y en el 100% de muestras de sedimentos.

Pérez Mora, W. (2021) analizó suelos de cultivo de los municipios de Sibaté, Tenjo, Mosquera, Facatativá, Siberia, en el departamento de Cundinamarca, y la localidad de Bosa de la ciudad de Bogotá, Colombia, influenciados por el cauce del río Bogotá, midiendo las concentraciones de cromo, cadmio, plomo y níquel por espectrofotometría de absorción atómica (ICP) con horno de grafito. Para evaluar el grado de contaminación se calculó el índice de geoacumulación, encontrando que los suelos están clasificados como moderada y extremadamente contaminados, particularmente en contenidos de cromo en todas las zonas de muestreo estudiadas, y de plomo y cadmio en la zona de Sibaté.

Enamorado, G. et al. (2021) realizó una evaluación de la concentración de metales pesados (Hg, As, Cd, Zn, Pb, Cu, Mn) en agua y sólidos suspendidos totales para un tramo del río Cauca en dos temporadas (seca – lluvias). En el tramo estudiado, desde Caucasia (Antioquia) hasta Achí (Bolívar) fueron seleccionadas 13 estaciones de muestreo. Para los sólidos suspendidos el orden decreciente de los metales fue Mn>Zn>Cu>Pb>As>Hg>Cd y para el agua fue Mn>Hg>Pb>As>Cd. Al realizar la comparación con los límites de concentración máximos permitidos de la organización mundial de la salud, se concluyó que solo tres metales superaban la concentración permitida, los

cuales fueron Hg, Pb y Mn respectivamente; para el mercurio se encontró que el valor medio fue de 83  $\mu\text{g/L}$  lo cual es un valor muy por encima del rango permitido, para el plomo 2 de las 13 estaciones de muestreo, asociadas al río Nechí, superaron el límite máximo permitido, para el Mn en cada una de las estaciones de muestreo se sobrepasó el umbral de 400  $\mu\text{g/L}$ . Las fuentes de estos contaminantes son de tipo antropogénico, posiblemente asociadas a actividades mineras y agrícolas características del área de estudio.

El último año, en Brasil, S. de Carvalho, V, et al. (2023) cuantificaron el mercurio total (Hg) en sedimentos colectados en períodos con y sin lluvia en el río Joanes (Bahía) mediante el Análisis Directo de Mercurio (ADM). Los resultados demostraron que las mayores concentraciones de mercurio total fueron encontradas próximo a áreas comerciales y áreas residenciales; y contrariamente, los niveles más bajos se encontraron en el punto cercano a una región de manglares. Se aplicó el índice de geoacumulación a los resultados de mercurio total, evidenciando una baja contaminación en la región estudiada. Además, el factor de contaminación mostró que, de las siete estaciones investigadas, cuatro muestras recogidas en la estación lluviosa presentaron una contaminación moderada, demostrando que las partículas de sedimento más pequeñas concentran más mercurio, corroborando lo predicho por los procesos de adsorción.

A la par, Córdoba Tovar, L., et al. (2023) midieron las concentraciones de mercurio (Hg) y arsénico (As) en sedimentos de diversos pantanos de la cuenca del río Atrato, en Colombia; la cual representa uno de los biomas tropicales más importantes del mundo y ha experimentado un crítico deterioro ecológico debido a la minería aurífera. Para esto, los autores emplearon índices clásicos para evaluar los riesgos ecológicos y para la salud humana asociados a la exposición a estos elementos. Los resultados informaron que los valores más altos de Hg se encontraron cerca a la desembocadura del río (excepto en un punto de muestreo), donde la actividad de la agricultura es más intensa; además, el factor de contaminación indicó que la mayoría de los sedimentos presentaban niveles moderados de contaminación por Hg y As. Por el contrario, el índice de carga contaminante (IPC) demostró un nivel de contaminación de básico a moderado para Hg y As, con la excepción del punto de muestreo A, que mostraba un deterioro progresivo del lugar. El índice de geoacumulación (Igeo) indicó que los sedimentos estaban moderadamente contaminados con Hg, mientras que mostraban signos de contaminación creciente para el As. Se concluye que, de acuerdo con los criterios de concentraciones de efecto limitante (TEC), las concentraciones de Hg superaron la TEC en las estaciones B y C, lo que indica un riesgo tóxico potencial.

### 2.1.2. Escala nacional

Por el lado nacional y más próximo a nuestra realidad, también se llevaron a cabo estudios relacionados que aportan información relevante a esta investigación, tal como el realizado por Quispe Yana et al. (2019), donde se describe la determinación de metales pesados de interés (Cr, Cd, Pb) en sedimentos superficiales de la cuenca baja del río Coata, arteria fluvial afluyente más importante del lago Titicaca, Puno. La investigación es cuantitativa de carácter no experimental, del tipo comparativo, por lo que se evaluó la contaminación de los cuerpos de agua colectando muestras de sedimentos por duplicado tomando in situ los parámetros fisicoquímicos (CND, pH y T°) en cinco puntos estratégicos durante dos épocas del año, avenida y estiaje. La cuantificación y análisis químico de estos elementos se realizó por espectroscopia de absorción atómica (método EPA 200.7); seguidamente, los resultados obtenidos se compararon con los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos del MINAM-2013 y determinando como posibles causas de contaminación, las antropogénicas con impacto en las aguas residuales, principalmente los proyectos mineros de la zona, se concluyó que en los sedimentos superficiales de la cuenca baja de este río la presencia de concentraciones de Pb y Cd están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que Cr se encuentra por encima de los ECA para suelos, además la concentración de Cd y Pb disminuye desde el primer punto hasta el punto cinco, sin embargo, el Cr tiene distinto comportamiento con los dos anteriores.

Paralelamente en el mismo río Coata, Puno, Belizario et al. (2019) realizó otra evaluación de metales pesados (P, As, Al, Fe, Mn) con un enfoque similar respecto a los cinco puntos estratégicos y la evaluación tanto en época de estiaje como en avenida; sin embargo en esta, se colectó muestras de agua de río por duplicado in situ, y para la determinación de los elementos se empleó la técnica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP), que consta de una fuente de ionización y de un espectrofotómetro de emisión óptica (OES), mientras que las mediciones de las concentraciones fueron realizadas por espectrometría de emisión atómica. Y de igual manera utilizando los ECA de del MINAM, finalmente concluyen que entre todos los metales evaluados, solo las concentraciones de arsénico y fósforo en época de estiaje superan los niveles permisibles; y que el parámetro más importante fue la conductividad eléctrica (1680  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la cual en combinación a otros parámetros como el pH, generan condiciones ideales para generar eutrofización en las partes bajas de la cuenca y el lago Titicaca, y que un valor que excede los 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sería indicador de aguas contaminadas y vulnerabilidad, las cuales tienen origen principalmente en la descarga incontrolada y sin tratamiento de las aguas residuales y residuos sólidos de la ciudad de Juliaca, Puno.

Continuando en el sur del país, Sanchez, R. (2019), realizó un estudio en el que se evalúa niveles de metales pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el Río Osmore, región Moquegua; donde se comenzó determinando el área de estudio, escogida de manera estratégica en una zona de influencia donde se extrae minerales de cobre y molibdeno, provenientes de la minería, de manera que en la Cuenca Moquegua-Ilo-Osmore se realizó la toma de muestras en 6 estaciones de monitoreo desde Octubre de 2016 a Marzo de 2017, siendo los tributarios 6 ríos de la cuenca, incluyendo los ríos Osmore Alto y Osmore Bajo, desembocando en el mar. La metodología usada para el análisis químico fue por Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), previa digestión ácida, usando hotblock o microondas o filtración y análisis instrumental por ICP-OES (método EPA 6010B). Posteriormente, basado en los ECA-2017 del MINAM, los resultados obtenidos muestran en ambas épocas, un pH con una ligera basicidad en los puntos cercanos a la costa, indicador de suelos alcalinos, mientras que la conductividad en las 6 estaciones cumplen en un 100% con la norma, presentando una baja cantidad de sales disueltas, por otro lado la presencia de oxígeno disuelto representa la buena calidad de agua en los ríos de esta cuenca, estando óptimos para actividades de agricultura, así como de bebida para animales. Así, finalmente concluyen en que se presentaron concentraciones bajas de Al, Pb y Sr durante el estiaje, siendo de leve riesgo, mientras que, en época de avenida, el Al superó el ECA para agua con 28.2 mg/L (600% >), afectando la calidad del agua y siendo perjudicial para la flora y fauna de la cuenca.

Asimismo, con el fin de resaltar la problemática de la acumulación de contaminantes inorgánicos en los compartimientos ambientales procedentes de actividades urbanas e industriales por un mal manejo de residuos, Salas-Mercado et al. (2020) realizó una investigación de la distribución de metales pesados y metaloides en aguas superficiales y sedimentos del río Crucero, ubicado en el departamento de Puno, y el cual confluye con otros ríos pertenecientes a la Cuenca Ramis, desembocando en el Lago Titicaca. Para este estudio se tomó en cuenta estación seca o época de estiaje (mayo 2017), se seleccionaron 5 estaciones de muestreo a lo largo del río y se determinaron los parámetros fisicoquímicos in situ básicos, incluyendo pH, T°, CE y redox; se recolectaron muestras de agua y sedimentos superficiales para analizar la concentración de metales pesados (Cd, Zn y As) presentes en las muestras mediante espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción (ICP-OES). Posteriormente, los resultados mostraron que el agua bajo escrutinio no era apta para consumo humano, debido a los valores de pH mayores a 8.5 (OMS), no obstante, la concentración de metales en agua no excede los ECA nacionales ni los valores de criterios externos al país; aun así, existe certeza de contaminación por dichos metales en sedimentos bajo regulaciones internacionales.

Con un estudio más reciente, Rivera (2021), evaluó la concentración de metales totales disueltos en el agua de la Laguna de Patón, provincia de Oyón, Lima, los metales pesados de interés fueron As, Pb y Zn, los cuales se contrastaron con los ECA-2017 de agua del MINAM, para lo cual mediante cadena de custodia se tomaron muestras de agua superficiales en las temporadas de avenida y estiaje en cuatro puntos de control dentro de esta laguna, para así evaluarlas mediante el método de Espectrometría de masas de plasma de acoplamiento inductiva (ICP-MS; EPA 200.8), donde el análisis brinda resultados de concentraciones máximas de Arsénico (0.0161 mg/L), Zinc (0.0147 mg/L) y Plomo (0.0094 mg/L), siendo el Pb el único metal que superó los límites establecidos por los ECA, concluyendo en que se identificó que el punto más crítico de contaminación por metales pesados en la época de estiaje, y deduciendo nuevamente con estos datos que, la contaminación se debe primordialmente al vertimiento de aguas residuales industriales provenientes de compañías mineras cercanas a la laguna y la disposición de las formaciones geológicas (disolución de rocas y suelos) que presenta la cuenca Huaura.

Permaneciendo por el norte del país, Correa et al. (2021), realizó una evaluación de contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray en la región Apurímac, con el objetivo principal de determinar fuentes y niveles de metales pesados en sedimentos del agua de este río. La técnica de análisis fue por fluorescencia de rayos X (FRX) durante la época seca y de lluvia de los años 2018 y 2019, la cual pudo detectar diversos elementos como K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Co y 15 más, resaltando la presencia de Zn, Cr, Cu, Pb, Ni y As como elementos críticos en cada punto de la microcuenca de este río, obteniendo que las concentraciones son superiores a los LMP. Consecuentemente se concluyó que los periodos de avenida y estiaje no presentan diferencia significativa en sus resultados y se dedujo que las principales fuentes de contaminación son los centros poblados debido a que las aguas residuales domésticas drenan directamente al río principal de la microcuenca, las malas prácticas de la agricultura debido a su expansión y uso de fertilizantes, los catastros mineros, así como minería ilegal. además de fuentes naturales.

Retomando una investigación que utiliza nuestra metodología e instrumentos de interés, Quispealaya et al. (2021) presentó un estudio sobre la concentración de metales pesados en sedimentos y truchas de los ríos Opamayo y Sicra en la región de Huancavelica, Perú, con el objetivo de determinar la concentración de metales pesados en estas muestras con ayuda de especialistas en minería, química y ambientales. En campo se utilizaron métodos de colecta de sedimentos y recolección de truchas con redes y trampas, para una vez en laboratorio estas muestras luego de pasar por tamizado y balanza analítica fueran analizadas mediante espectroscopia de

absorción atómica y espectrometría de masas mediante plasma de acoplamiento inductivo (ICP-EOS). De esta manera, los resultados mostraron que los niveles de MP en truchas no superan los LMP según la norma "Manual de Indicadores Sanitarios y de inocuidad para los Productos Pesqueros y Acuícolas para Mercado Nacional y de Exportación"; sin embargo, los niveles de metales pesados en sedimentos sí son significativos, con concentraciones promedias en el río Opamayo de As (2,262 mg/L), Pb (3,554 mg/L), Cr (3,466 mg/L) y Cd (0,127 mg/L), que comparadas con los estándares D.S N° 002-2018-MINAM-ECA, el Cr se encuentra por encima de los límites máximos permisibles la cual crea un impacto negativo en la vida acuática. Concluyendo que, si bien unos datos son significativos y otros no, se debe considerar el riesgo para la biodiversidad y la salud humana; y si bien en ambos ríos hay presencia de metales pesados, el río Opamayo, el cual, al estar en una zona con mayor influencia de contaminación por la minería, presenta mayor concentración de estos metales pesados.

Otro estudio interesante y que resalta el lado social asociado a los niveles de metales pesados, es el realizado por Salas-Ávila et al. (2021) en el río Suches, Puno, por lo que, sus objetivos son evaluar la concentración de metales pesados en este río Suches y analizar el comportamiento social de los actores locales sobre la calidad del agua relacionada con actividades mineras en Cojata. Para ello, primero se recolectaron muestras de agua y sedimentos en este río, procediendo con la cuantificación de As, Cd, Cr, Pb, Cu y Hg mediante espectrofotometría de masas con plasma inductivo acoplado (ICP-MS); y para el análisis cualitativo del comportamiento social de los actores comunales, se basó en la recolección de testimonios representativos. Así, se obtuvo resultados de concentraciones promedio de MP en agua que disminuyen en función al recorrido del cauce, siendo  $Cu > Cr > As > Pb$  los que se encuentran por debajo de los ECA-categoría 3 para agua. Mientras que, en las muestras de sedimentos, las concentraciones de metales pesados son variables a lo largo del trayecto del río, siendo que As (11.52 mg kg<sup>-1</sup>) y Cd (1.14 mg kg<sup>-1</sup>) sobrepasan límites recomendados por la ISQG de Canadá en la mayoría de los puntos. Entonces, como conclusión, se ha evidenciado que hay una variación considerable en las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos del río Suches; asimismo, se determinó que la presencia de estos metales en el río se debería a las descargas generadas por excavaciones y drenajes propios de las actividades mineras, así como fuentes naturales (composición mineralógica y meteorización natural de rocas), lo que en conjunto causaría impactos negativos en la calidad del agua del río; y respecto al comportamiento social, existe un rechazo evidente a la minería que se basa en la asociación colectiva de una mala calidad del agua relacionada con la turbidez de la misma.

La siguiente investigación considera únicamente la época de estiaje para responder a esta problemática común Dávila Lima et al. (2021) realiza este estudio motivado por la importancia de los sedimentos como medio de enriquecimiento de contaminantes y como hábitat biológico. Comienza entonces recogiendo diez muestras de sedimentos superficiales (0-4 cm) del estuario Boca del Río, ubicado en la Provincia de Ilo, que desembocan en el mar del Océano Pacífico utilizando un extractor en las orillas del estuario de Boca del Río y que fueron extraídas durante los meses de octubre a diciembre, es decir, en época de estiaje. Seguidamente pasan a ser selladas por separado en bolsas de polietileno limpias, colocadas en una nevera a 4 °C y transportadas al Laboratorio de Calidad de Agua de la Universidad Nacional de Moquegua. Para la determinación de las concentraciones de siete metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en los sedimentos superficiales primero se pesó una muestra de sedimento de 0,1 g de peso seco en una balanza de masas y se digirió con una mezcla de HCl-HNO<sub>3</sub> en un recipiente de teflón sobre una placa caliente, donde las muestras líquidas se evaporaron hasta un estado casi seco y por último, las muestras se ajustaron a un tubo de centrifuga adecuado con agua doblemente desionizada y se filtraron con una membrana (0,45µm) para ser conservados y llevados posteriormente a un laboratorio de ensayos químicos, donde se determinaron los metales pesados acumulados en sedimentos mediante Espectrometría de Plasma ICP-OES y todas las muestras se analizaron por triplicado para demostrar la reproducibilidad del equipo. Finalmente, se concluyó que las concentraciones de metales pesados varían considerablemente en los sedimentos del estuario Boca del Río, siendo significativa en Cu y Fe, pero sobre todo con niveles elevados de Arsénico (62.451 mg/kg), que sobrepasan los Estándares de Calidad de Sedimentos de la EPA (2014) y la normativa peruana, lo que indica un riesgo potencial para la salud humana y el medio ambiente.

### 2.1.3. Escala regional

En la región Arequipa, si bien no existe gran cantidad de estudios actualizados de esta problemática, destacan algunas investigaciones como la de Monge (2018), donde se cuantificó la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) en las muestras de sedimentos recolectadas en el río Chili para su posterior comparación con la Línea Guía sobre la Calidad de Sedimentos para la Protección de Vida Acuática, de las Directrices Canadienses de Calidad Ambiental (CEQG). Se comenzó por recolectar un total de 10 muestras del área de estudio en la época húmeda (mayo) y seca (septiembre), realizando dos extracciones: extracción fuerte y extracción débil, y se analizó con Espectrometría ICP o absorción atómica. Obteniendo, con respecto al As, que hubo una variación de la concentración respecto a la época seca y la época húmeda; sin embargo, los resultados no sobrepasan la normativa internacional canadiense; mientras que el Cd (0.66 mg/kg)

en época seca resultó sobrepasar el límite en 4/10 puntos de muestreo. Asimismo, la autora observó una diferencia en la concentración de los metales pesados en los sedimentos del río Chili, con un registro de mayor en la temporada húmeda, lo cual se atribuyó a la variación de los parámetros fisicoquímicos de los sedimentos como el pH, siendo que dos estaciones de monitoreo registraron un ligero aumento de pH en época húmeda (avenida) y en las demás estaciones se observó una disminución del pH medido en la época seca (estiaje). Se concluye entonces que si bien, entre todos los metales detectados, solo el Cd en sedimentos superó lo establecido en el CEQG, es necesario continuar monitoreando la calidad del agua y los sedimentos del río Chili para evaluar la efectividad de las medidas de control y prevención de la contaminación.

De igual manera a nivel local, García (2019) escogió como zona de estudio las cuencas de los Ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña, donde realizó el muestreo sistemático de estas cuatro cuencas de la región Arequipa, para determinar cuál de ellas presenta mayor contaminación del agua por metales pesados (arsénico, boro, cobre, plomo, cadmio y cianuro). El enfoque de esta investigación está en las fuentes naturales de la contaminación, identificando los peligros geológicos en los valles de las cuencas, tales como inundaciones, deslizamientos, lajares en quebradas y erosión del suelo, ya que los suelos de los valles se saturan de agua y de soluciones, percolando por los vasos comunicantes; asimismo, incluyó el tipo de riego por gravedad, ya que este influye en la desestabilización de las laderas, y reconoce que el drenaje inadecuado de las aguas produce: salinización, alcalinidad y acidez en los suelos. Así, obtenido los resultados de concentración de metales pesados en estos ríos por análisis químico, se observó que la cuenca del río Tambo presentó un alto contenido de arsénico, aportados por las aguas termales del río Vagabundo y el aporte de material volcánico (Ticsani, Huaynaputina, Ubinas); asimismo, la cuenca del río Quilca presentó excesivo boro aportado por otros volcanes (Hualca Hualca, Sabancaya) y contenido de Pb proveniente de los relaves y el drenaje minero, al igual que la cuenca del río Camaná, la cual registró presencia de Pb provenientes de mineras, pasivos ambientales y el aporte de aguas residuales, así como contenido de Cd, producido por la descomposición de las rocas, meteorización, y la actividad volcánica y fumarólica de los volcanes. Concluyendo que, la mayor concentración se observa en la cuenca del río Tambo superando los ECA, y en la cuenca río Quilca, mientras que las otras dos se encuentran al límite. Adicionalmente el autor considera otros factores como las inundaciones irregulares en el río Ocoña en época de avenida, las cuales inundan los cultivos del valle, haciendo que los agricultores usen productos agroquímicos para sus cultivos; y la minería informal, ya que estos contribuyen significativamente a la contaminación del río.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica se define como la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente lagos, todos hacia el mar por una única desembocadura, estuario o delta (MITECO, 2020), es también el territorio en el que ocurre el ciclo hidrológico. Dentro de ella diferentes procesos erosivos interactúan espacial y temporalmente a varias escalas, desde una superficie agrícola atravesada por un arroyo (microcuenca), hasta las grandes cuencas fluviales (cuencas lacustres), las cuales comprenden un complejo sistema de cuencas y microcuencas hidrográficas atravesadas por un río principal y sus afluentes (FAO, 2015).

Para categorizar las cuencas hidrográficas, Bordino (2021) destaca principalmente la estructura de estas según su altitud como se observa en la Fig 1; así, las partes de una cuenca son:

- Cuenca alta: esta constituye la zona de nacimiento del río, el cual se desplaza por una gran pendiente; y es donde se produce la mayor cantidad de precipitaciones fluviales y deshielo de glaciares.
- Cuenca media: corresponde a la zona de valle del río, donde existe un equilibrio entre el material sólido arrastrado por la corriente y el que se deposita; y ya que presenta una pendiente más empinada que las otras partes de la cuenca hidrográfica, se le conoce también como “Zona de transporte o escurrimiento” (Gutiérrez, 2013).
- Cuenca baja: es la zona baja del río en el cual el material (sedimentación) arrastrado a lo largo de la cuenca se deposita, producto de la menor velocidad de la corriente. Y siendo que en este sector generalmente se forman llanuras que muestran un relieve aplanado, se le denomina llanura aluvial.



Figura 1. Partes de una cuenca hidrográfica

*Fuente: WWF, 2014*

### 2.2.2. Análisis estacional

Para realizar una evaluación óptima de la calidad de agua en distintos cuerpos naturales de agua (ríos, lagos, laguna) con el fin de monitorear cuencas o unidades hidrográficas, se precisa que esta se realice periódicamente durante el año hidrológico, es decir, en dos estaciones anuales, llamadas avenida o creciente (diciembre-abril) y estiaje (mayo-noviembre). Especialmente, el análisis de contaminación por metales pesados en diferentes momentos del ciclo hidrológico puede ofrecer una visión más completa de los cambios ambientales a lo largo del tiempo, donde la detección de aumentos o disminuciones significativas de niveles de metales pesados puede indicar alteraciones en la calidad ambiental y en los patrones de contaminación, lo que enfatiza y guía la necesidad de acciones correctivas y planes de remediación ambiental puntuales.

Para comprender mejor este análisis, es importante definir los siguientes conceptos (ANA, 2020):

- **Época de avenida:** Período del año donde surgen incrementos significativos en el caudal de un río o arroyo, o donde el caudal mensual medio llega a su máximo. En el Perú y según las tendencias climáticas de Arequipa, este comprende desde el mes de diciembre hasta abril. También conocida como crecidas, se produce por precipitaciones, deshielo de glaciares y nieve, o liberación de embalses.
- **Época de estiaje:** Período del año que representa el nivel más bajo o caudal mínimo de un río o corriente, o en la cual el caudal mensual medio llega a su mínimo. En el Perú, este comprende desde el mes de mayo a noviembre. Este evento se debe a la temporada de sequía o escasez de precipitaciones, pudiendo generar consecuencias para el abastecimiento de agua, agricultura y medio ambiente.

Cabe resaltar que la importancia de las estaciones meteorológicas radica en que proporcionan datos esenciales para la planificación de recursos durante estos periodos de escasez.

### 2.2.3. Contaminación del agua

La óptima calidad del agua es un factor determinante del bienestar humano ya que las poblaciones usan dicho recurso para diversas actividades como la pesca, agricultura, industria, abastecimiento público, recreo y deporte, por lo que se denomina sustancia contaminante a cualquier elemento introducido directa o indirectamente por el ser humano que interfiera en el uso normal de dichas actividades en algún sistema acuático superficial o subterráneo; así como diversas consecuencias como daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas como la natación y la pesca,

e interferencia sobre actividades como el riego, el abastecimiento de agua para la industria, entre otros. Cabe mencionar que ciertos fenómenos naturales como la erosión arrastran sedimentos que hacen variar la calidad del agua de los ríos, quebradas, entre otros; pero no constituyen una fuente principal o significativa de contaminación (Sierra, C., 2011).

Justamente son las aguas superficiales, es decir, los lagos de agua dulce, ríos, lagunas, y ciénagas; las que el ser humano utiliza para desarrollar sus funciones básicas y, a su vez, son las que se encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento previo. La mayor preocupación sobre la seguridad del agua es la presencia potencial de contaminantes químicos orgánicos e inorgánicos, así como metales pesados provenientes de fuentes industriales, agrícolas y de escorrentía urbana. En la Tabla 1 se observan los principales contaminantes del agua agrupados en las siguientes categorías generales:

**Tabla 1. Tipos generales de contaminantes del agua**

<i>Tipo de contaminante</i>	<i>Impacto</i>
Elementos traza	Salud, biota acuática, toxicidad
Metales pesados	Salud, biota acuática, toxicidad
Metales enlazados orgánicamente	Transporte de metales
Radionúclidos	Toxicidad
Contaminantes orgánicos	Toxicidad, biótica acuática
Asbesto	Salud humana
Nutrientes de algas	Eutrofización
Sustancias que dan acidez, alcalinidad, salinidad (en exceso)	Calidad del agua, vida acuática
Contaminantes orgánicos traza	Toxicidad
Medicamentos, anticonceptivos, etc.	Calidad del agua, vida acuática
Bifenilos policlorados	Posibles efectos biológicos
Plaguicidas	Toxicidad, biótica acuática, fauna
Residuos de petróleo	Efectos en la fauna, contaminación visual
Alcantarillado, residuos humanos y de animales	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno	Calidad del agua, niveles de oxígeno
Patógenos	Efectos en la salud
Detergentes	Eutrofización, fauna, contaminación visual

Compuestos carcinógenos químicos	Incidencia de cáncer
Sedimentos	Calidad del agua, vida acuática, fauna
Sustancias que dan sabor, olor y color	Calidad del agua, vida acuática contaminación visual

*Fuente: Figueruelo et al., 2004*

Asimismo, en relación a la bioacumulación de metales pesados en el sistema vivo, cualquier oligoelemento esencial o no esencial que esté presente por encima de los niveles seguros puede provocar anomalías fisiológicas o morfológicas o mutaciones genéticas, como ralentizar o detener el crecimiento o provocar mutaciones. Y el hecho de que nuestra cadena alimentaria se ve expuesta constantemente con materiales esenciales y no esenciales como resultado del uso excesivo de agroquímicos, aguas residuales municipales, efluentes industriales y aguas residuales sin tratar para riego, representa un riesgo permanente para la salud.

En el caso de presencia de metales pesados, el riesgo dependerá de su concentración en ciertos medios y la duración de la exposición del individuo, sin embargo, incluso en cantidades bajas de metales peligrosos, la exposición crónica y a largo plazo puede causar problemas de salud (Mitra, S. et al., 2022). De esta manera, la toxicidad por metales pesados es uno de los principales estresores abióticos en seres vivos.

#### **2.2.4. Calidad del agua superficial**

La calidad del agua va a depender del propósito específico al que se destina: por ejemplo, un agua suficientemente limpia para la vida de los peces, tal vez no lo está para practicar un deporte de recreación como la natación o para el consumo humano, por lo tanto, para decidir si cierta agua es de una calidad deseable para un determinado propósito, su calidad debe ser especificada en términos del uso (Terneus-Jácome, et al., 2018).

Se define como agua superficial a aquella que se encuentra sobre la superficie del suelo, mayormente producida mediante escorrentías provenientes de precipitaciones, cuya calidad se mide por el índice de calidad que reportan los análisis físicos, químicos y microbiológicos y que se comparan con los estándares que establece la normatividad ambiental (ECA-Agua) (Florián, T., 2016), exenta de microorganismos patógenos, de sustancias químicas que produzcan efectos fisiológicos en el hombre y, además, estéticamente aceptable; funcionando también como el hábitat de gran número de organismos desde las algas unicelulares hasta los peces; y ser una fuente indispensable para la población y soporte de sus actividades tanto económicas como de ocio. Podemos entender, entonces, que la calidad del agua de un cuerpo será el resultado de la evaluación completa de tres componentes básicos: su hidrología, sus

características fisicoquímicas y la parte biológica para brindar un diagnóstico del estado actual.

### Índices de calidad del agua

La expresión matemática calculada a partir de los tres componentes básicos anteriormente mencionados (aspectos fisicoquímicos, aspectos biológicos y aspectos no acuáticos) se define como índice de calidad de agua, como se observa en la siguiente Tabla 2:

**Tabla 2. Definición de parámetros fisicoquímicos**

<i>Parámetro</i>	<i>Definición</i>
<b>pH</b>	El pH representa la acidez o basicidad de una solución, y esta depende de la cantidad de iones de hidrógeno e iones OH <sup>-</sup> que contenga (Albin A. et al., 1975).
<b>T°</b>	La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro.
<b>Conductividad eléctrica</b>	La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para permitir el paso de una corriente eléctrica. Se define como el inverso de la resistividad eléctrica y se representa generalmente por la letra griega sigma ( $\sigma$ ). Los materiales con alta conductividad eléctrica, como los metales, permiten el flujo de corriente con mayor facilidad, mientras que los materiales con baja conductividad, como los aislantes, resisten el flujo de corriente (Callister, W., 2010); (Tipler, P. et al., 2007).
<b>Salinidad</b>	La salinidad se refiere a la concentración de sales disueltas en un cuerpo de agua, usualmente expresada en partes por mil (‰). Es un parámetro crucial en la determinación de la calidad del agua y afecta la biodiversidad y la productividad de los ecosistemas acuáticos (Wetzer, Robert G., 2001).

*Fuente: Elaboración propia*

Por su parte, la biota acuática se define como es cualquier espacio físico ubicado sobre la hidrosfera que es habitado por una especie en particular (Fig. 2). Se entiende por hidrosfera a la porción de la Tierra ocupada por océanos, mares, ríos, lagos y otros tipos de masas de agua. Finalmente, los parámetros no acuáticos hacen referencia a todos los cambios temporales y espaciales que son debidos

a los factores intrínsecos y externos al sistema acuático en estudio. Por ejemplo, la canalización del cauce, la presencia de bosques en las riberas de la corriente, etc. (Urgilez, P., 2016).

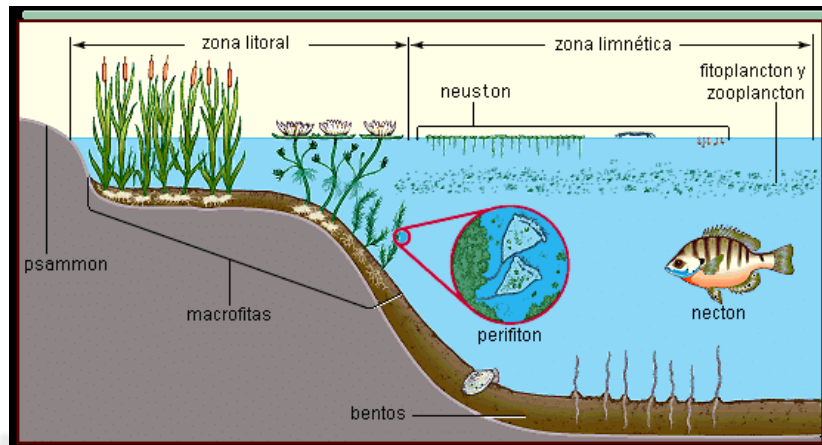


Figura 2. Gráfico ilustrativo de un ecosistema lótico

Fuente: *WEBSCOLAR*, 2013

### 2.2.5. Metales pesados

Los metales pesados no tienen una definición única o una correcta, sin embargo, los podemos definir en base a sus (Reyes-Navarrete, M. et al., 2012):

- Propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica;
- Propiedades mecánicas: como fuerza y ductilidad;
- Desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión”.

Por otro lado, los metaloides poseen propiedades físicas semejantes a las de los metales y no metales, éstos son el arsénico, germanio, antimonio, selenio y telurio, los cuales se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (Reyes-Navarrete, M. et al., 2012).

Entonces de manera resumida, definimos los metales pesados como elementos de elevado peso atómico, potencialmente tóxicos, que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el níquel (Ni) que, incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para el ambiente y la vida que lo habita, como plantas, animales y la salud humana (Rodríguez, D., 2017).

Propiedades y movilidad en ambiente

Como se mencionó anteriormente, la presencia de metales en el ambiente se da por vía natural y antropogénica, siendo capaces de movilizarse en y a través de distintos medios, como agua, suelo y aire, mediante la transferencia, bioacumulación y biomagnificación de MP que ocurre cuando ingresan del medio abiótico al biótico (Rebollo Salinas, 2022). Una vez presentes, los metales pesados son tóxicos ambientales muy peligrosos debido a sus características como: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, las cuales hacen que dichos metales se encuentren en los ecosistemas por largos periodos de tiempo, siendo que su degradación natural es muy difícil (Rodríguez, D., 2017).



Figura 3. Fuentes potenciales de metales pesados en el medio ambiente

Fuente: Mitra, S. et al., 2022

A continuación, en la Tabla 3 se describen los principales metales que son evaluados frecuentemente:

**Tabla 3. Descripción de los principales metales pesados**

<i>Metal pesado</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>
<b>Arsénico</b>	As	El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera, el cual está presente en cuatro estados de oxidación As(V), As(III), As(0) y As(-III) y su número atómico es 33 y peso atómico de 74,922 u.

		<p>En aguas marinas, la especie dominante es el As (V), que puede ser transformado a formas orgánicas o reducido biológicamente a As(III). El arsénico puede circular en los ecosistemas naturales por un largo periodo de tiempo y puede ser incorporado en suelos, aguas subterráneas y litologías hospedantes. (Reyes, Y. et al., 2016)</p> <p>La mayor cantidad de este metal presente en el medio ambiente es proveniente de fuentes naturales, como meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas, sin embargo, existe también una importante contribución de actividades humanas provenientes de procesos industriales, tales como minería, fundición de metales, pesticidas, conservantes de la madera, entre otros. (Litter, M., 2018)</p>
<b>Cadmio</b>	Cd	<p>El cadmio es un tóxico inorgánico que pertenece al grupo IIB de la tabla periódica, y es un metal de transición maleable inodoro, blanco azulado. Su número atómico es 48 y su peso atómico es de 112.41 u. Además, es inflamable e insoluble en agua; sin embargo, puede arder en su forma en polvo (Suhani, I. et al, 2021).</p> <p>Entre los metales tóxicos, el cadmio (Cd) es uno de especial preocupación debido a sus características ambientales, químicas y biológicas, siendo un metal pesado ecotóxico que afecta negativamente al funcionamiento biológico tanto en plantas, animales, como en seres humanos.</p> <p>Se distribuye ubicuamente en el medio ambiente por fuentes naturales, como actividades volcánicas e incendios forestales, formando parte de la composición natural de algunas rocas y suelos (~25,000 toneladas/año); así como por vía de una enorme liberación antropogénica (~30,000 toneladas/año) (M. Forcella et al., 2020), ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria de producción de baterías, revestimiento de materiales, soldadura, estabilizantes de plásticos como PVC, productos agrícolas como fertilizantes fosfatados entre otros; teniendo una aumento progresivo en su producción.</p>
<b>Cromo</b>	Cr	<p>El cromo es un metal que se presenta naturalmente en forma del mineral</p>

		<p>cromita, y sus diferentes fases disueltas tienen comportamientos fisicoquímicos variados: el <math>\text{Cr}^{2+}</math> forma complejos con aminas y cianuros; el <math>\text{Cr}^{3+}</math> forma complejos estables con cloruros, fluoruros, sulfatos, sales amónicas, cianuros, sulfocianuros, oxalatos y citratos; los cromatos (<math>\text{Cr}^{6+}</math>) se complejan con peróxido de hidrógeno; siendo que los cromatos de metales alcalinos, férricos, cúpricos, manganosos y magnésicos son solubles, mientras que los de otros metales son insolubles (Monge, K., 2018).</p> <p>La oxidación de <math>\text{Cr}^{3+}</math> a <math>\text{Cr}^{6+}</math> puede realizarse tanto electroquímica como biológicamente. Estos procesos implican un equilibrio complejo entre la disolución y la precipitación de compuestos de cromo en aguas naturales. La materia orgánica reduce los compuestos de <math>\text{Cr}^{6+}</math> a complejos orgánicos de <math>\text{Cr}^{3+}</math>, un proceso ampliamente estudiado.</p> <p>Las principales fuentes antropogénicas de cromo en el agua provienen de efluentes industriales, como los de la producción de inhibidores de corrosión, pigmentos para pinturas y barnices, algunos fertilizantes fosfatados y lodos residuales (Marín, 2003).</p>
<b>Cobre</b>	Cu	<p>El Cobre es un elemento metálico que se encuentra en la naturaleza en forma elemental, o bien formando variados compuestos como óxidos, sulfatos complejos y carbonatos, sobre todo. Las principales fuentes de contaminación son: las minas y fundiciones de cobre, las fábricas de plásticos, las actividades agrícolas, lodos residuales (Monge, K., 2018).</p> <p>En las aguas naturales se suelen hallar concentraciones bajas de Cobre, entre 1 y 100 <math>\mu\text{g/l}</math>, encontrándose valores más altos, pero siempre inferiores a 1 <math>\text{mg/l}</math> en aguas ricas en sustancias y compuestos húmicos, y en general, ricas en materias orgánicas.</p> <p>En este sentido, en aguas con elevados contenidos en amonio (bajo forma de <math>\text{NH}_3</math> o <math>\text{NH}_4^+</math>) se aprecia la existencia de complejos cupro-amoniacaes de alta estabilidad (Marín, 2003).</p>
<b>Níquel</b>	Ni	<p>El níquel (Ni) es el vigésimo cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Tiene una amplia gama de aplicaciones, siendo</p>

		<p>utilizado industrialmente en la producción de acero y aleaciones, galvanoplastia, producción de baterías de níquel-cadmio (hidróxido de níquel), catálisis química, fabricación de componentes electrónicos como tubos de vacío y transistores (carbonato de níquel) y en la fabricación de artículos metálicos como barcos, turbinas a reacción, armamento, bujías, herramientas dentales, herramientas de fábrica y utensilios domésticos (Klein, C. &amp; Costa, M., 2015)</p> <p>El procesamiento del Ni puede provocar un elevado nivel de contaminación y polución del agua, suelo y aire.</p>
<b>Plomo</b>	Pb	<p>El plomo es un metal gris, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre, su número atómico es 82 y su peso atómico de 207,2 u.</p> <p>Este metal se puede encontrar en concentraciones poco significativas en rocas sedimentarias y suelos no contaminados, sin embargo, cuando este ya ingresa a los cursos de agua es frecuentemente debido a las actividades antropogénicas, representando una seria amenaza para la vida acuática y consecuentemente para la salud humana a causa de sus características de persistencia, bioacumulación, propiedad no biodegradable y su toxicidad incluso a bajas concentraciones (Pabón Guerrero, S. et al, 2020).</p> <p>El plomo es utilizado ampliamente a escala comercial debido a su facilidad para formar aleaciones, por lo que entre las principales fuentes de contaminación ambiental de este metal destacan la explotación minera, metalurgia y uso en procesos industriales, como pintura, gasolina, aditivos; y fuentes domésticas provenientes de productos cotidianos, tales como juguetes, cosméticos, entre más (Azcona-Cruz, M. I., 2015).</p>
<b>Zinc</b>	Zn	<p>Abundantemente distribuido en la naturaleza asociado a sulfuros de otros metales (Fe, Cu, Cd, Pb) también se puede encontrar como sulfuro de zinc puro en la blenda. Su presencia en aguas naturales, tanto superficiales como subterráneas, es rara, pudiendo encontrarse en forma</p>

	<p>inorgánica, iónica o coloidal y siendo sus especies químicas más frecuentes <math>Zn^{2+}</math>, <math>Zn(OH)^+</math>, y <math>ZnCl_3^-</math>. Los compuestos poco solubles de Zn (hidróxidos y carbonatos) tienen capacidad de adsorberse fuertemente sobre sedimentos y lodos del fondo del lecho de los cauces hídricos.</p> <p>Elemento de carácter muy esencial para el hombre, se encuentra en aminoácidos y en numerosas enzimas que intervienen en la digestión de proteínas, metabolismo del etanol, del Ca y P, etc. El Zn influye, además, en el crecimiento, desarrollo encefálico, conducta, reproducción, funciones sensitivas, inmunoresistencia, actúa potenciando la insulina, etc. Sin ser tóxico, a dosis elevadas y dado que se suele dar asociado al cadmio (éste sí muy tóxico) su incremento en un acuífero natural puede informar sobre una potencial presencia indeseable del segundo en el agua (Marín, 2003).</p> <p>Respecto al ser humano, el Zn provoca Pérdida de apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor, irritación en la piel, pequeñas llagas y erupciones cutáneas (OMS).</p>
--	---

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.2.6. Sedimentos

El sedimento es un material sólido acumulado sobre la superficie terrestre (litósfera), como capas de partículas de minerales y materia orgánica, a menudo de grano fino, que se encuentran en las profundidades de las masas de agua natural como lagos, ríos y océanos. Estos derivan de las acciones de fenómenos naturales, como vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos (Urgilez Montero, P. F., 2016).

La gran importancia ambiental de los sedimentos radica en que son sumideros de muchos compuestos químicos, en especial de los metales pesados y de compuestos orgánicos como los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) y los pesticidas, los cuales se pueden transferir desde ellos hasta los organismos flora/fauna que habitan la zona y por consecuencia a la salud humana. Es así que, la protección de la calidad del sedimento es un componente fundamental de gestión del agua (Baird, C. et al., 2013).

### Unión entre los metales pesados, suelos y sedimentos

El autor del libro “Química ambiental” Baird, C. et al., (2013) redacta que el último sumidero de los metales pesados, y de muchos compuestos orgánicos tóxicos, está en el depósito y soterramiento en suelos y sedimentos. Sin embargo, los metales pesados a menudo se acumulan en la capa superficial del suelo y, por tanto, pueden ser absorbidos por las raíces de los cultivos. Asimismo, se conoce que los metales pesados están retenidos en el suelo por tres vías:

- por absorción en la superficie de las partículas minerales;
- por formación de complejos con las sustancias húmicas en las partículas orgánicas; y
- por reacciones de precipitación.

En este último término, el mismo autor describe que, las partículas se sedimentan en el fondo de los lagos y quedan enterradas cuando otros sedimentos se acumulan encima. Este soterramiento representa un importante sumidero para muchos contaminantes del agua, y es un mecanismo por el cual se limpia el agua. Sin embargo, antes de que se cubra por capas subsiguientes de sedimentos, la materia recientemente depositada en el fondo de un reservorio de agua puede volver a contaminar el agua por desorción de los compuestos químicos, ya que la adsorción y desorción están en equilibrio. Además, los contaminantes adsorbidos pueden entrar en la cadena trófica, si las partículas son consumidas por organismos que habitan en los sedimentos.

Aun así, diferentes sedimentos con la misma concentración total de iones de un metal pesado pueden variar en un factor de diez en términos de toxicidad en organismos originada por el metal. La variabilidad se da sobre todo porque los sulfuros de los sedimentos controlan la disponibilidad de los metales. Si la concentración de ion sulfuro supera la concentración total de los metales, en la práctica todos los iones metálicos quedarán ligados a sales insolubles de sulfuro y no estarán disponibles biológicamente a valores normales de pH. Sin embargo, si la concentración de sulfuro es menor que la de los metales, la diferencia es la que estará biológicamente disponible (Baird, C. et al., 2013).

#### ➤ **Sedimentos en las microcuencas de los ríos**

Los sedimentos pueden permanecer estables durante largos períodos, millones de años, hasta consolidarse en rocas. También pueden ser movidos por fuerzas naturales como el viento o el agua y la gravedad, ya sea después de las lluvias, o por curso de agua, ríos y arroyos, este movimiento de los sedimentos es conocido como erosión. A su vez, estos juegan un papel importante en el ciclo elemental del medio acuático; siendo los encargados de transportar una proporción importante de nutrientes y contaminantes (Urgilez Montero, P. F., 2016).

En los procesos de monitoreo acuático, el sedimento puede ser clasificado como suspendido o depositado. El sedimento depositado es el que se encuentra en el lecho de un río o lago, a diferencia de los sedimentos suspendidos (sólidos suspendidos) que son transportados por un flujo de agua y se encuentran en la columna de ésta (Edwards, T. & Douglas, G., 1999).

➤ **Interacción de metales pesados y sedimentos**

Las interacciones agua-sedimento varían dependiendo de cada elemento traza y sus características químicas, sin embargo, la concentración de los cationes metálicos disueltos tiende a aumentar a pH's ácidos, mientras que los pH's básicos facilitan la adsorción de estos elementos en los sedimentos, esto puede variar a través de una reacidificación del medio cambiando el flujo de metales de vuelta a la columna de agua y viceversa (Mantero, J. et al., 2020).

Asimismo, los sólidos disueltos favorecen el incremento de las concentraciones de los metales pesados en aguas superficiales mucho más que los sólidos suspendidos. Y la incorporación de las especies disueltas y suspendidas a algunos sedimentos depende también de las características de los sedimentos donde se vayan a depositar, pues una mayor presencia de materia orgánica, arcilla y limo en los sedimentos favorecen la acumulación de los metales pesados (Sojka, M., et al., 2018).

### 2.2.7. Índices y factores de evaluación de la contaminación

#### Índice de Carga Contaminante (PLI)

El Índice de Carga Contaminante (PLI, por sus siglas en inglés "Pollution Load Index") es una herramienta utilizada en la evaluación de la calidad del agua y la carga de contaminantes en cuerpos de agua, como ríos, lagos y embalses. Se usa para evaluar la influencia acumulativa de varios contaminantes en el agua (metales pesados, nutrientes, sustancias orgánicas), recopilando datos sobre múltiples parámetros de calidad y proporciona una medida integrada de la calidad del agua en un solo valor; también es frecuentemente utilizado para evaluar la calidad de sedimentos acuáticos (Islam, S., et al, 2015). El PLI se define como la raíz enésima de las multiplicaciones del factor de contaminación (CF) de los metales.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n}$$

donde:

CFmetales = es la relación entre el contenido de cada contaminante a los valores de fondo

(o valores base), tratándose de metales pesados, la fórmula se expresaría de la siguiente manera:

$$CF_{metals} = CH_{metal} / CH_{background}$$

*CH metal*: Concentración medida de un contaminante específico en el agua.

*CH background*: Concentración estándar o de referencia para ese mismo contaminante.

### Índice de Geoacumulación (Igeo)

Este índice es una herramienta utilizada en la geoquímica y la evaluación de la contaminación ambiental para determinar el grado de acumulación de un elemento químico específico en el suelo o sedimentos en comparación con su concentración de fondo o nivel de referencia en el medio ambiente, como propone Müller (1969). Este índice se utiliza principalmente para evaluar la contaminación de metales pesados y otros elementos traza en suelos, sedimentos o rocas. Se expresa mediante el cálculo de la siguiente ecuación:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n}$$

donde:

$C_n$  (mg/kg): es la concentración del elemento “n” en la muestra del suelo;

$B_n$  (mg/kg): es la concentración o valor de fondo del elemento “n” en el ambiente;

1.5 = es el coeficiente considerado por la contaminación local que pueda causar cambios en los valores base de los metales pesados.

La clasificación del resultado de la ecuación del Igeo se divide en siete categorías (Tabla 4):

**Tabla 4. Clasificación del Igeo**

RESULTADO	CATEGORÍA
$I_{geo} < 0$	Limpio
$0 \leq I_{geo} < 1$	Ligeramente contaminado
$1 \leq I_{geo} < 2$	Moderadamente contaminado
$2 \leq I_{geo} < 3$	Moderadamente a muy contaminado
$3 \leq I_{geo} < 4$	Muy contaminado
$4 \leq I_{geo} < 5$	Muy contaminado a extremadamente contaminado
$5 < I_{geo}$	Extremadamente contaminado

*Fuente: Müller, 1969*

### 2.2.8. Análisis estadístico

#### Análisis de Varianza (ANOVA)

El ANOVA (del inglés "*Analysis of Variance*") es un modelo estadístico lineal utilizado para analizar y comparar las diferencias entre las medias de tres o más grupos o conjuntos de datos (variables cuantitativas continuas). Se emplea para determinar si existe una variación significativa entre los grupos y si esta es atribuible a diferencias reales en las poblaciones de donde provienen los datos o si es simplemente el resultado de la variabilidad aleatoria (Flores-Ruiz, E. et al., 2017).

#### Análisis de correlación de Pearson:

Esta es una técnica estadística utilizada para medir la relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas con distribución normal, proporcionando un número, llamado coeficiente de correlación ( $r$  de Pearson), que indica si las dos variables están relacionadas y en qué grado, variando en un rango de -1 a 1, donde un valor de " $r$ " cercano a 1 indica una correlación positiva perfecta, lo que significa que a medida que una variable aumenta, la otra también lo hace en proporción constante; un valor de  $-1$  indica una correlación negativa perfecta, es decir, las variables son inversamente proporcionales; y un valor de cercano a 0 indica una correlación débil o nula, lo que significa que no hay una relación lineal fuerte entre las dos variables (Nguyen, B. T., 2020). Suele ser aplicado en evaluaciones ambientales, de contaminación atmosférica, contaminación sonora y contaminación por metales pesados.

#### Análisis de componentes principales (PCA) y Análisis factorial (FA)

El Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis Factorial (FA) son dos técnicas de análisis multivariante utilizadas en estadísticas. El análisis de componentes principales (PCA) es un modelo de reducción de dimensionalidad de datos mediante la creación de un nuevo conjunto de variables (llamadas componentes principales) que son combinaciones lineales de las variables originales y son un conjunto más pequeño de componentes, donde no diferencia entre la varianza y la covarianza del factor original. Mientras que el análisis factorial (FA) es una técnica que se utiliza para explorar las relaciones subyacentes entre un conjunto de variables observadas y reducir la dimensionalidad de los datos al atribuir las correlaciones entre variables a factores comunes latentes (no observados) que, simultáneamente, integran la varianza de, y la covarianza entre, las variables originales del modelo (Hefetz, A., & Liberman, G., 2017).

#### Análisis de conglomerados (Clúster)

El Análisis de Conglomerados (Clúster) es un método estadístico multivariado que puede

reducir una compleja cantidad de información en pequeños grupos o clústers, donde los miembros de cada uno de ellos comparten características similares (Lin & Chen, 2006). El análisis clúster tiene por objeto formar grupos o clústers homogéneos en función de las similitudes o similaridades entre ellos (Peña, 2002).

### 2.2.9. ICP

Los métodos tradicionales para determinar las concentraciones de elementos se pueden dividir en métodos gravimétricos, volumétricos, colorimétricos, y métodos espectroscópicos; entre los cuales los métodos de plasma acoplado inductivamente (ICP), conocidos por su exactitud, precisión y límites bajos de detección; constituyen una excelente alternativa. Específicamente, la espectroscopía de ICP (plasma con acoplamiento inductivo) es un método analítico multielemental que se utiliza para detectar y medir elementos con el objetivo de analizar muestras químicas, cuyo proceso se basa en la ionización de una muestra por un plasma extremadamente caliente, normalmente hecho de gas argón. (Douvris et al., 2023)

#### ICP-OES

Según los autores Douvris et al. (2023), la espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) estuvo disponible comercialmente por primera vez en 1974 y, desde entonces, se ha convertido en una de las técnicas analíticas más utilizadas en el mundo debido a que es una poderosa herramienta para la determinación de concentraciones de elementos traza y ultratrazas en una amplia variedad de muestras; específicamente, para análisis de multielementos, convirtiéndose así en el método preferido para el análisis elemental debido a su capacidad de medir simultáneamente múltiples elementos. Además, su uso no se limita a lo anteriormente mencionado, sino que es utilizado en una amplia gama de aplicaciones, incluido el monitoreo ambiental, el análisis de alimentos y el diagnóstico médico.

#### ➤ **¿Cómo funciona?**

Como explican Douvris et al. (2023), esta técnica utiliza plasma acoplado inductivamente para generar iones y átomos excitados que emiten una radiación electromagnética característica. El plasma, componente clave de cualquier instrumento ICP, es un gas ionizado que contiene electrones y cationes libres a altas temperaturas y bajas presiones, y que generalmente funciona mediante un generador de radiofrecuencia (RF) de funcionamiento libre; el cual también se reconoce como uno de los estados primarios de la materia. El plasma de inducción, o "plasma acoplado inductivamente", se refiere a la utilización de un gas que fluye bajo condiciones específicas de

presión y temperatura como fuente de plasma, y las propiedades de excitación espectral del plasma de inducción han atraído un interés considerable por parte de espectroscopistas y químicos analíticos, lo que ha llevado a su aplicación en el análisis de muestras.

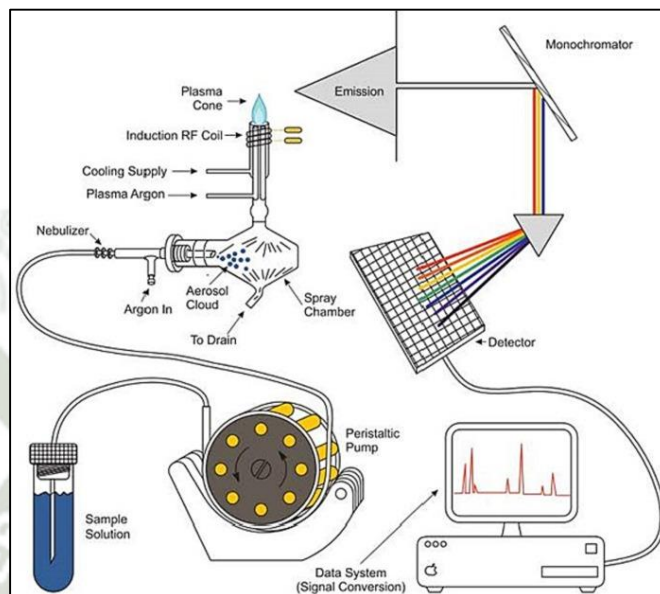


Figura 4. Equipo ICP-OES

*Fuente: Douvris et al, 2023*

## 2.3. MARCO LEGAL

### 2.3.1. Marco legal internacional

#### **Canadá: Guías de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG).- Línea Guía para la calidad de sedimentos en aguas continentales**

Esta Guía de calidad de sedimentos fue desarrollada por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente como herramientas de protección amplia para apoyar el funcionamiento de ecosistemas acuáticos saludables.

### 2.3.2. Marco legal nacional

#### **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ**

La Constitución Política del Perú, conocida como la "Carta Magna", es la ley fundamental que establece los principios del derecho, la justicia y las regulaciones en el país. Define la estructura del Estado y en el Artículo 2, inciso 22, reconoce el derecho a un entorno equilibrado. Los recursos naturales son patrimonio nacional (Artículo 66), y la política ambiental es responsabilidad del Estado según el Artículo 67, que promueve el uso sostenible de los recursos.

#### **LEY N° 28611: LEY GENERAL DEL AMBIENTE**

La Ley General del Ambiente hace hincapié en el derecho fundamental de toda persona a vivir en un ambiente saludable, así como destaca la importancia del uso de los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), un referente indispensable en la gestión ambiental de todas las esferas del desarrollo sostenible.

#### **LEY N° 29338: LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

Esta ley establece los usos y la adecuada gestión del recurso agua.

#### **Decreto Supremo N°004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias**

Dicho Decreto actualiza únicamente ciertos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA (D.S. 2008, 2009, 2015).



### CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

##### Tipo de investigación

El presente estudio enfoca un tipo de investigación no experimental, ya que se centrará en observar el fenómeno de la concentración de metales pesados en sedimentos tal y como se dan en el área de estudio mediante un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos (medición de parámetros) y cualitativos (interpretación de resultados); asimismo, de carácter comparativo porque, valga la redundancia, se comparará los resultados obtenidos de cada estación (estiaje y avenida) de las muestras de sedimentos de la cuenca Majes-Camaná para identificar los factores que influyen en dicha diferencia, de existir. La investigación es cuantitativa de carácter no experimental, del tipo comparativo.

##### Nivel de investigación

La presente investigación corresponde a nivel descriptivo ya que la información necesaria para llevar a cabo el estudio no será manipulada, es decir, esta será recolectada sin cambiar el entorno para su posterior análisis.

#### 3.2. Variables

**Tabla 5. Tabla de operacionalización de variables**

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
Calidad del río Majes y río Camaná	Independiente	Parámetros Físicoquímicos: pH CE	Unidad
Temporada estacional		Tiempo avenida/estiaje	mes
Puntos de muestreo		Coordenadas geográficas	UTM
Presencia de metales pesados	Dependiente	Concentración de metales pesados	mg/kg

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.3.1. Cuenca Majes-Camaná

La presente investigación se realizó en la cuenca hidrográfica Majes-Camaná (media-baja), específicamente en 7 puntos estratégicos ubicados a lo largo del río Majes y el río Camaná. Dicha cuenca, originalmente llamada Camaná-Majes-Colca (UH 134) se encuentra ubicada en el Perú, departamento de Arequipa, dividiéndose administrativamente entre la Provincia de Camaná, Provincia de Castilla y Provincia de Caylloma. Tiene un área total de 17 152,73 km<sup>2</sup>, siendo, luego de la Cuenca del Río Chira, la cuenca más extensa de la vertiente del Pacífico peruano. Se encuentra en la parte Sur de la costa del Perú, en la vertiente Pacífica. Limita al Norte con las cuencas Pucara (UH 018) y Alto Ucayali (UH 4998); al Sur con la cuenca Quilca-Vítor-Chili (UH 132), la intercuenca 133 y el Océano Pacífico; al Este con las cuencas Quilca-Vítor-Chili (UH132), Tambo (UH 1318) y Coata (UH 0176) (ANA, 2015).

Respecto su ubicación geográfica, tiene una desembocadura en el Océano Pacífico; a continuación, sus coordenadas geográficas se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Ubicación de la cuenca Camaná-Majes-Colca**

Sistemas	Datos	Componentes	Valor	
			Mínimo	Máximo
Coordenadas Geográficas	Horizontal WGS 84	Longitud Oeste	70° 53' 5"	72° 44' 6"
		Latitud Sur	14° 55' 50"	16° 37' 59"
Coordenadas UTM Zona 18	Horizontal WGS 84	Metros Este	737 940	821 990
		Metros Norte	8 159 678	8 347 644
Altitud	Vertical Nivel Medio del Mar	m.s.n.m.	0	6 398

*Fuente: ANA, 2015*

Según el Informe "Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca" realizado por la Autoridad Nacional del Agua en el año 2015, la red hidrográfica principal de esta cuenca está constituida por el río Camaná-Majes-Colca como río principal, 6 afluentes principales (río Negrillo, río Llapa, río Molloco, río Andagua, río Capiza, río Huarío o Huacocane (Grande) y 10 ríos secundarios (río Blanquillo, río Anchaparra, río Llacllajo, río Sihuinta, río Mamacocho, río Orcopampa, río Tapaza, río Tipán, río Huayllaura, río Antaura) y 2 quebradas significativas (quebrada Huambo y quebrada Molles). Otras de las unidades hidrográficas dentro de la zona de influencia del área de estudio son las siguientes:

**Tabla 7. Unidades hidrográficas dentro de la zona de influencia seleccionada**

N°	UNIDAD HIDROGRÁFICA	CÓDIGO	LONGITUD (km)
1	Río Camaná	13411	67.64468
2	Quebrada Herrera	13412	12.0545
3	Quebrada Tinta	13414	13.41814
4	Quebrada Pisques	13416	10.03214
5	Quebrada Puluviñas	13418	80.01268
6	Quebrada Molles	13421	48.8208
7	Quebrada Hospicio	13422	56.46871
8	Quebrada 13424	13424	42.21599
9	Quebrada Crespón	13426	24.05346
10	Quebrada Jahuay	13428	31.94507
11	Quebrada Chorrillos	13429	50.60826
12	Quebrada Sicera	13432	45.49856
13	Quebrada Cosos	13434	28.56543
14	Río Majes	13435	49.49857
15	Quebrada Huario	13436	61.67093
16	Quebrada 13438	13438	22.91623
17	Río Capiza	13441	11.26509
18	Río Tapaza	13442	27.79514
19	Río Llacllajo	13443	25.83572
20	Quebrada Jollpa	13444	19.01717
21	Río Sihuarpo	13446	10.24558
22	Río Llato	13449	23.48576
23	Río Colca	13451	56.2807
24	Quebrada Seca	13452	10.25422
25	Quebrada Glorياهوasi	13454	22.09048
26	Quebrada Jasmín	13456	28.59516
27	Quebrada Pichillhuay	13458	10.15912
28	Río Ayo	13461	36.28015
29	Quebrada Tambo	13462	25.95791
30	Río Mamacocha	13472	24.30045
31	Río Huambo	13474	42.06248

*Fuente: ANA, 2012*

En la parte más alta de esta cuenca hidrográfica se encuentra el río Colca, seguidamente por el río Majes en la parte media, y la parte más baja con el río Camaná. Así, de los 7 puntos de muestreo considerados, 3 se ubican en el río Majes (PM-01, PM-02, PM-03) y 4 en el río Camaná (PM-04, PM-05, PM-06, PM-07), estos fueron seleccionados en base a su proximidad con distintos catastros mineros, centros poblados, zonas agrícolas, y otros factores externos que convencionalmente generan contaminación por metales pesados.

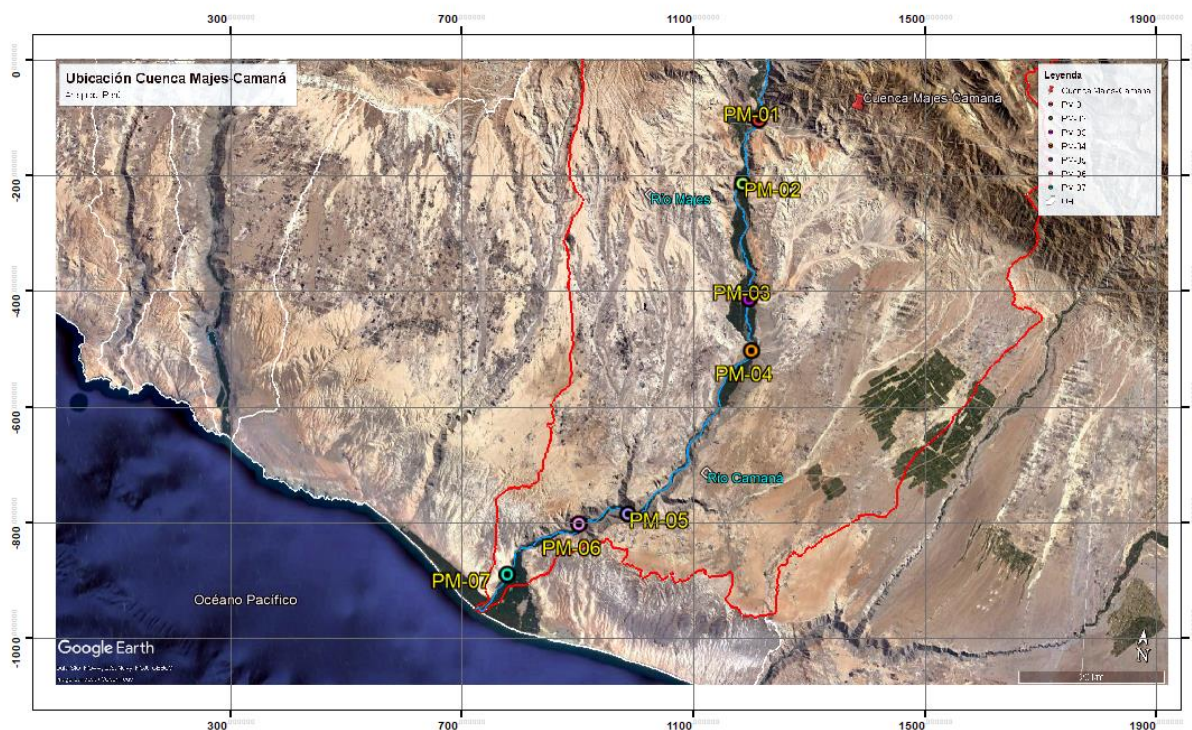


Figura 5. Puntos de muestreo seleccionados en el río Majes-Camaná

*Fuente: Google Earth, 2023*

### 3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.4.1. Población

La cuenca Majes-Camaná, específicamente los ríos Majes y Camaná en la región de Arequipa, fue la sección que abarcó la totalidad de las siete estaciones de muestreo tanto en la época de estiaje como la época de avenida, de donde fueron recuperados los sedimentos analizados.

#### 3.4.2. Muestra

Se extrajeron un total de 42 muestras (21 por estación) por método de triplicado a lo largo de los 7 puntos de muestreo determinados en el río Majes y río Camaná, posteriormente homogenizadas en el proceso de pretratamiento con el objetivo de obtener una muestra representativa por punto de muestreo por estación; es decir, un total de 7 muestras por estación, formando la sección de la población de la cual se obtuvo la información necesaria para llevar a cabo la presente investigación.

### 3.5. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.5.1. DETERMINACIÓN DEL SITIO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Como primer paso, con ayuda del Software ArcGis 10.8, se determinó estratégicamente un total de 7 puntos de muestreo dentro de la cuenca Majes-Camaná (Zona 18K), específicamente a lo largo del río Majes y río Camaná (Fig. 6); para la selección se consideró la ubicación y zona de influencia del catastro minero y agricultura, así como la accesibilidad a cada punto de muestreo. Dichos puntos de muestreos seleccionados siguieron la metodología de un muestreo de identificación (MI) por triplicado en los meses de enero y febrero, correspondiente a la época de avenida; repitiendo el mismo procedimiento en los meses de agosto y septiembre, correspondiente a la época de estiaje, como se observa en la siguiente Tabla 8:

**Tabla 8. Determinación de los puntos de muestreo en época de avenida y estiaje**

Muestra	Coordenadas UTM	
Código	TEMPORADA HÚMEDA Y SECA	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
PM-01	771047.0	8230286.9
PM-02	769442.7	8220999.2
PM-03	771597.5	8204910.1
PM-04	772460.8	8197753.5
PM-05	757405.3	8174191.6
PM-06	750928.4	8172266.5
PM-07	741945.8	8164793.5

*Fuente: Elaboración propia*

Un total de 42 muestras, 21 por época, se recuperaron tomando los sedimentos superficiales a una profundidad de 0-5 cm con la ayuda de una pala de plástico pequeña previamente desinfectada con HNO<sub>3</sub> al 10%; y fueron almacenados en recipientes de polietileno previamente rotulados con el código y subcódigo de cada punto de muestreo etiquetados con un plumón permanente. Asimismo, se tomaron los parámetros fisicoquímicos de pH y temperatura in situ con un equipo Multiparámetro de campo HANNA HI 9829, anotados en una hoja de cálculo de Excel.

Para asegurar un óptimo seguimiento de la cadena de custodia, cada muestra fue colocada en un cooler a una temperatura de 4°C, hasta ser trasladados al laboratorio de calidad de la Universidad Católica de Santa María donde fueron almacenados en una congeladora industrial ETHIK configurada a -4°C hasta su posterior análisis.

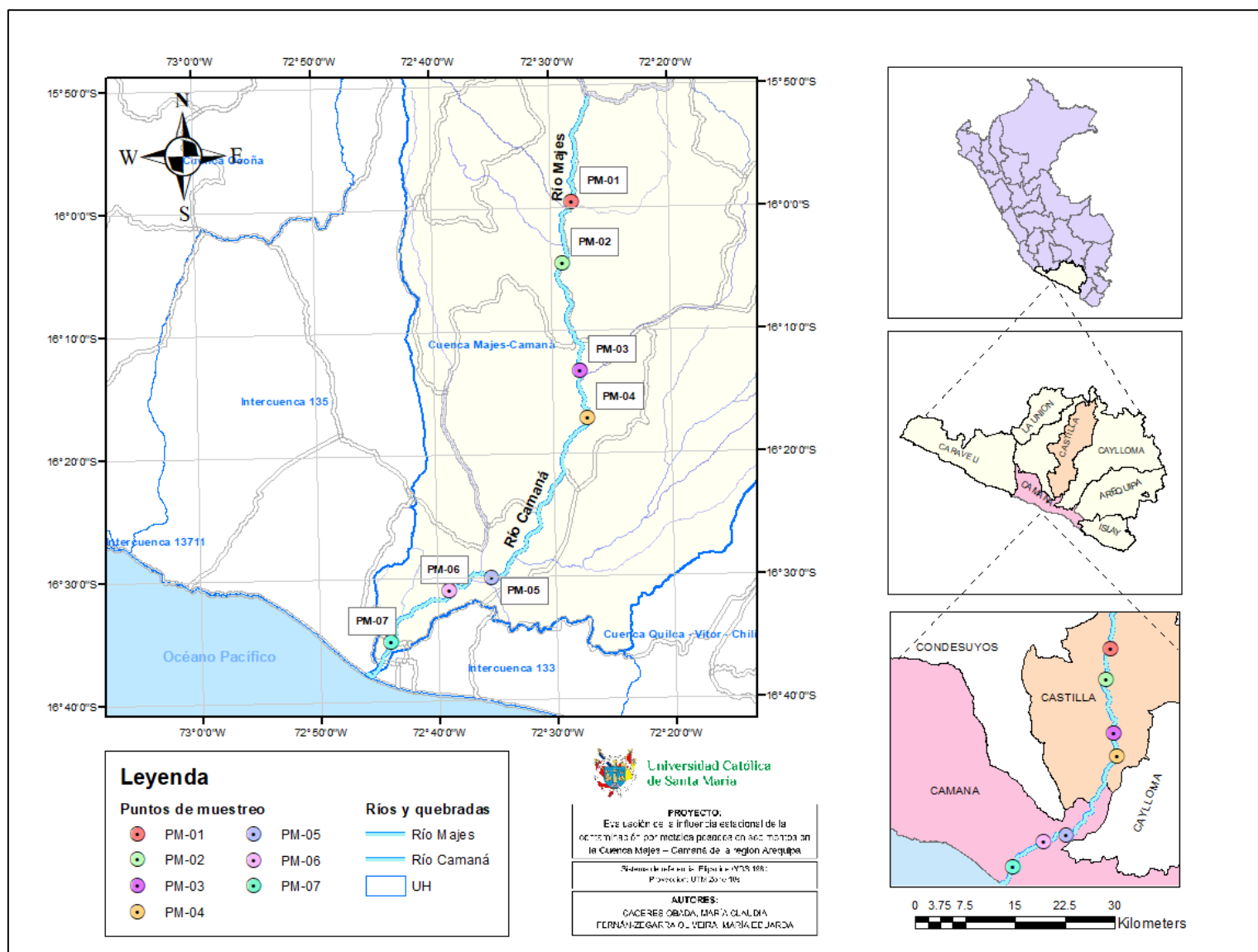


Figura 6. Ubicación de los puntos de muestreo a lo largo de la cuenca Majes-Camaná

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS

Las muestras previamente recolectadas fueron secadas en un horno de aire caliente a 45°C por 48 horas con el objetivo de obtener un peso constante. Luego, las muestras secas fueron molidas con un mortero, y se tamizaron para obtener una fracción de sedimento de 2 mm y así eliminar posibles residuos externos como rocas, esqueletos de macroinvertebrados, etc.; y fueron almacenadas en bolsas de polietileno selladas al aire. Debido al enriquecimiento de metales pesados en la fracción más fina correspondiente a la fracción de arcilla y limo, los sedimentos se tamizaron nuevamente al tamaño <math><63\ \mu\text{m}</math> para descartar la fracción que no pasó, correspondiente a la arena, a la fracción que pasó y con la que se trabajó, correspondiente a la arcilla y limo. Finalmente, para obtener una muestra representativa, estas muestras se colocaron sobre un tablero limpio e impermeable y fueron divididas en cuatro partes, mezclando las porciones diagonales y descuartizándolas nuevamente hasta obtener una muestra homogénea. Seguidamente para la digestión de la muestra, estas se llevaron al laboratorio de calidad de la Universidad Católica de Santa María acreditado por el INACAL, donde se pesaron 2 gr de muestras de sedimento seco y homogeneizado en una balanza Sartorius™ Balanza analítica Entris™ II, en un vaso de precipitados de teflón, luego se diluyó con 4 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado, 4 mL de HClO<sub>4</sub> y 15 mL de HF, se cubrió con una cubierta de teflón y se dejó hervir lentamente en una placa caliente a 80-90°C para eliminar el HF. Cerca del punto de sequedad, se añadió 2 mL de HClO<sub>4</sub> y se repitió el ciclo de evaporación. Los residuos se disolvieron en 2 mL de HCl 1 N y 10 mL de agua destilada. Luego 0,5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado se agregó y se llenó el vaso con agua destilada.

Finalmente, para el análisis químico, con las muestras ya preparadas en el laboratorio de calidad, se logró determinar las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn utilizando un espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES), técnica elegida debido a su análisis multielemental, muy importante para este estudio que deseó determinar y cuantificar diversos metales pesados con concentraciones significativas.

### 3.5.3. EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

#### 3.5.3.1. Evaluación de impacto ambiental

Con todos los datos obtenidos previamente, se discutieron los posibles impactos ambientales y de salud causados por la contaminación por metales pesados en los sedimentos de los ríos Majes y Camaná. Actualmente en el Perú no existen Estándares de Calidad Ambiental (ECA) nacionales para sedimentos, por lo que, para la interpretación del análisis químico de los sedimentos superficiales de cada punto de muestreo, se utilizó de referencia los valores de la

Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) (Tabla 9), ya que esta normativa internacional suele ser utilizada por el Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, así como por el OEFA, para la evaluación de la calidad de sedimentos.

**Tabla 9. Guía de Calidad Ambiental Canadiense – Valores guía para sedimentos**

Unidad	Parámetro	Valores guía para sedimentos (CEQG)	
		ISQG	PEL
mg/kg	Arsénico	5.9	17.0
	Cadmio	0.6	3.5
	Cromo	37.3	90.0
	Cobre	35.7	197
	Plomo	35.0	91.3
	Mercurio	0.17	0.486
	Níquel	NE	NE
	Zinc	123	315

*Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002*

\***CEQG:** *Canadian Environmental Quality Guidelines*, Valores guía para la protección de la vida acuática (sedimentos).

\***ISQG:** *Interim Freshwater Sediment Quality Guidelines*, Estándar interino de la calidad de sedimento; concentración por debajo del cual no presenta efecto biológico adverso.

\***PEL:** *Probable Effect Level*, Nivel de efecto probable; concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

### 3.5.3.2. Determinación del índice de Geoacumulación (Igeo)

El índice de geoacumulación (Igeo) se utilizó para evaluar el grado de contaminación por metales en los sedimentos de los ríos Majes y Camaná. Los valores del Igeo para los elementos se calcularon utilizando la ecuación de equilibrio, comparando entre los contenidos de metales pesados observados y los valores de referencia no contaminados, obtenidos de un previo estudio hidrogeológico de la Cuenca Majes-Camaná. La fórmula para este índice es:

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5 B_n} \right)$$

donde:

- Cn es la concentración de metal en la muestra de sedimento;
- 1.5 es el factor de corrección para la variación en la composición química del sedimento;
- Bn es el valor de fondo del metal específico en la línea de base.

Una vez obtenido el Igeo, nuestros resultados podrán clasificarse en un rango de 0 a 6, como se observa en la siguiente Tabla 10:

**Tabla 10. Criterios de calificación para el índice de geoacumulación**

Igeo	Valor	Categoría
$\leq 0$	0	Sin contaminar
0 – 1	1	Sin contaminar – Moderado
1.00 – 2.00	2	Moderado
2.00 – 3.00	3	Moderado – Alto
3.00 – 4.00	4	Alto
4.00 – 5.00	5	Alto – Extremo
$\geq 5$	6	Extremo

*Fuente: Müller, 1979*

### 3.5.3.3. Determinación del Índice de Carga Contaminante (PLI)

Se utilizó el índice de carga contaminante (PLI) para determinar el nivel de toxicidad de los sedimentos, ya que este índice empírico proporciona un medio simple y comparativo para evaluar el nivel de contaminación por metales pesados. La fórmula para calcular este índice es:

$$PLI = \sqrt[n]{Cf_1 \times Cf_2 \times Cf_3 \times \dots \times Cf_n}$$

donde:

- $Cf$  es el factor de contaminación; y
- $n$  es el número de metales considerados para la derivación del resultante.

De esta manera, los valores de superiores a 1 indicarán contaminación por metales pesados y un deterioro progresivo del sitio y su calidad ambiental, los valores igual a 1 indican un nivel básico de contaminantes y los valores de PLI inferiores a 1 indicarán que no hay contaminación. Como se observa en la siguiente Tabla:

**Tabla 11. Niveles de contaminación según su Índice de Carga Contaminante**

Valor	Nivel de contaminación
0	No hay contaminación
1	Nivel básico de contaminación
> 1	Nivel alto de contaminación

*Fuente: Islam, M.S, 2015*

### 3.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Finalmente, se realizó un análisis estadístico de los datos para evaluar la variación estacional de los niveles de metales pesados en los sedimentos, así como las correlaciones entre diferentes metales pesados. Se aplicaron técnicas estadísticas multivariadas, tales como análisis de correlación de Pearson (CA), análisis de componentes principales (PCA) y análisis factorial (FA) a los resultados obtenidos para reconocer las fuentes de estos metales pesados, de manera que se consiguió validar las variaciones temporales que se ven alteradas por fuentes naturales y antropogénicas ligadas a su estacionalidad (Redwan, M et al., 2017). Todos los análisis a continuación se realizaron utilizando el software *Paleontological Statistics Software 4.03* (PAST), el cual generó tablas de datos y representaciones gráficas en forma de diagramas para estos mismos.

#### 3.5.4.1. ANOVA

Se comenzó analizando los datos de concentración de metales pesados (mg/kg) en sedimentos obtenidos del laboratorio con estadística descriptiva, incluyendo la media, la desviación estándar y el rango de tres réplicas mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) de un solo factor de temporada empleando el software MINITAB 19, para mostrar las variaciones en las concentraciones de metales pesados afectadas en los niveles de avenida y estiaje, los cuales son periodos que se basan en el aumento o disminución de precipitaciones pluviométricas que originan el aumento o reducción de los caudales, respectivamente (Bhuyan, M.S. et al., 2017).

#### 3.5.4.2. Análisis de correlación de Pearson (CA)

El análisis Pearson se realizó con el objetivo de establecer el grado de asociación entre las variables analizadas. Para ello, se consideró los siete metales pesados As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni y Zn y los tres componentes mayoritarios en los sedimentos (CaO, SiO<sub>2</sub> y MO), este último dato siendo tomado de un previo estudio hidrogeológico de la cuenca. Así, los coeficientes de Pearson lograron examinar la relación entre los metales pesados y determinar fuentes de contaminación similares entre ellos dentro de un factor varimax (Nguyen, B. T., 2020).

#### 3.5.4.3. Análisis de componentes principales (PCA) y Análisis Factorial (FA)

El análisis PCA se utilizó en este estudio con el fin de discernir los factores naturales y antropogénicos que afectan la homogeneidad química de los sedimentos (Redwan, M et al., 2017); a su vez, la descomposición de la matriz de correlación en sus componentes principales que brindó autovalores (*eigenvalues*), explicó cuánta variabilidad representa cada componente principal. Donde FA explicó las correlaciones entre la concentración de metales pesados

(variables) y estimó el grado de cercanía entre los puntos de muestreo respectivos. Así, esta técnica estadística lineal multivariada logró reducir la dimensionalidad de los datos de concentración de metales pesados en sedimentos encontrados en ambas épocas; identificando los patrones subyacentes y consiguiendo simplificar la interpretación de datos.

#### **3.5.4.4. Análisis de Conglomerados (clúster)**

El análisis clúster se utilizó para agrupar los puntos geográficos de muestreo con características similares (Universidad de Valencia, s.f.) en este caso, patrones similares en la concentración de metales pesados y consecuentemente, en su nivel de contaminación relacionados a fuentes antropogénicas y/o naturales.





## CAPÍTULO IV

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Determinación de los puntos de recolección de sedimentos en la cuenca Majes-Camaná

Los puntos de muestreo de sedimentos en la cuenca Majes-Camaná de la Región Arequipa se establecieron en función a criterios de facilidad de acceso a la zona, la presencia de catastros mineros, la proximidad a zonas agrícolas, la cercanía a centros poblados y la posible existencia de efluentes industriales y/o domésticos, utilizando el software ArcGIS 10.8. De igual manera, Gonçalves, E. P. et al. (1994) seleccionaron sus estaciones de muestreo considerando como factores los vertidos de aguas residuales conocidos, las extracciones de agua para abastecimiento doméstico e industrial, la confluencia de los ríos más importantes (Homem y Rabaggio) y la facilidad de acceso a los sitios de muestreo.

En este estudio fue importante considerar la presencia de actividad minera ya que los procesos mineros utilizados para la obtención de metales con valor comercial, generan residuos llamados relaves mineros que constituyen una de las principales causas de la contaminación de los suelos con elementos potencialmente tóxicos (Pérez & Martín, 2015), llamados metales pesados. En la zona de estudio de la Cuenca Majes-Camaná, dentro del catastro minero (Fig 7), se identificó la existencia de 396 concesiones mineras (GEOCATMIN, 2023), las cuales se dividen en 204 concesiones con derecho minero titulado, 172 en trámite y 20 extinguidos o en fase de cierre de mina (ANEXO 2). De las concesiones mineras ubicadas dentro de la zona de influencia (cuenca media-baja), se observa que todos los puntos de muestreo están afectados directamente por esta actividad productiva. En el año 2016, los pobladores locales, con apoyo del alcalde provincial de Caylloma, denunciaron el derrame de unos 15 mil metros cúbicos de relave minero de la empresa Shila, la cual se presumía que contaminó afluentes del río Colca, llegando hasta el río Majes y Camaná (SDPA, 2016).

En la provincia de Castilla principalmente se explota el oro en rocas aluviales de algunos ríos y zonas aluvionales, además de producir cobre, plata y plomo. Se pueden ubicar distintos yacimientos mineros en la parte alta de la provincia de Castilla, donde entre los más importantes están las minas de Orcopampa, que producen cobre, plata y oro; y la mina Shila en el distrito de Chachas, que produce oro y plata, además de otras minas que explotan minerales no metálicos (ANA, 2015).

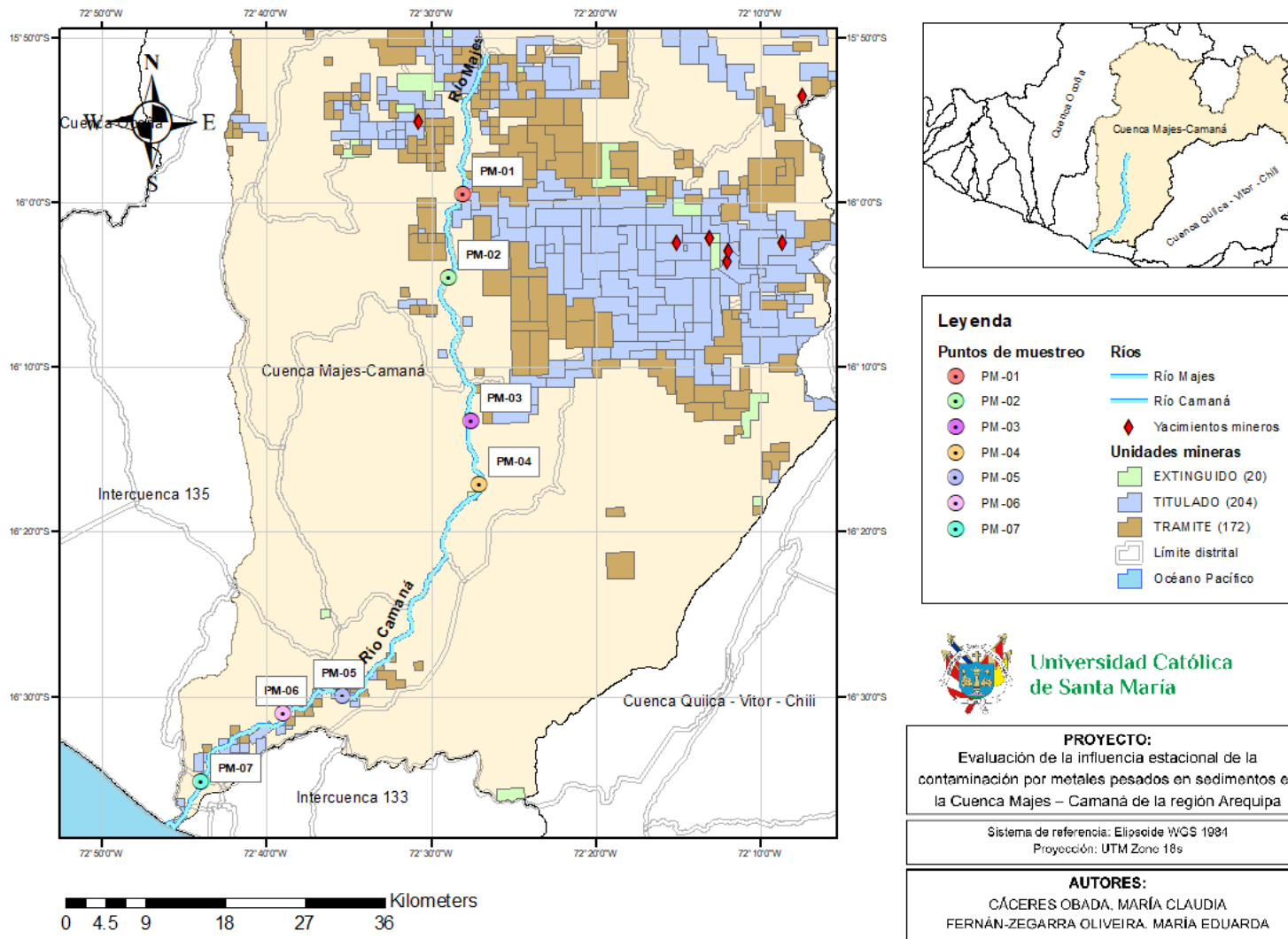


Figura 7. Mapa de catastro minero en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná)

Fuente: Elaboración propia

Además, para el presente trabajo, la proximidad a cobertura vegetal agrícola fue considerada un factor de suma relevancia a lo largo de todos los puntos de nuestro puesto que, según Kabata-Pendias (2004), en el último siglo, las concentraciones de diversos metales pesados han ido aumentando debido a las actividades antrópicas, donde se destaca la agricultura como una fuente no puntual; siendo la agricultura moderna una de las mayores fuentes de metales pesados debido al uso de los fertilizantes, especialmente los fosforados y nitrogenados, los plaguicidas, los compost derivados de residuos y lodos de plantas depuradoras de agua y el Estiércol (Tiller, 1989; Adriano, 2001)

Como se observa en el mapa temático de agricultura (Fig 8) realizado con ArcGIS 10.8 con data base obtenida del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal del MINAM (2015); en la parte media-baja de Cuenca Majes-Camaná se identificaron ocho (08) tipos de cobertura vegetal, tales como agricultura costera y andina, área urbana, bosque relicto altoandino, cardonal, desierto costero, loma, matorral arbustivo y pajonal andino. La cobertura vegetal predominante es la de desierto costero, con una extensión de 3166 km<sup>2</sup> que representa el 49% del área total de la zona de estudio, sin embargo, el dato de interés con relación al origen antropogénico de los metales pesados es la extensión de la agricultura, la cual es de 291.30 km<sup>2</sup> y como evidencia el mapa (GEO GPS PERÚ, 2021), se encuentra alrededor de la mayoría de los puntos de muestreo (PM-01, 02, 03, 04, 07) y la cual podría estar dando lugar a un incremento de concentración de metales pesado por el uso de fertilizantes químicos y los plaguicidas en la producción agrícola. Asimismo, en el valle de Majes, los cultivos más sembrados durante la campaña principal (entre julio y setiembre) son el arroz, alfalfa, maíz chala/grano, caña de azúcar, tomate y cebollas; mientras que, en los valles de Camaná, solo el arroz representa casi el 90% de su producción agraria, siendo el resto cereales (ANA, 2015).

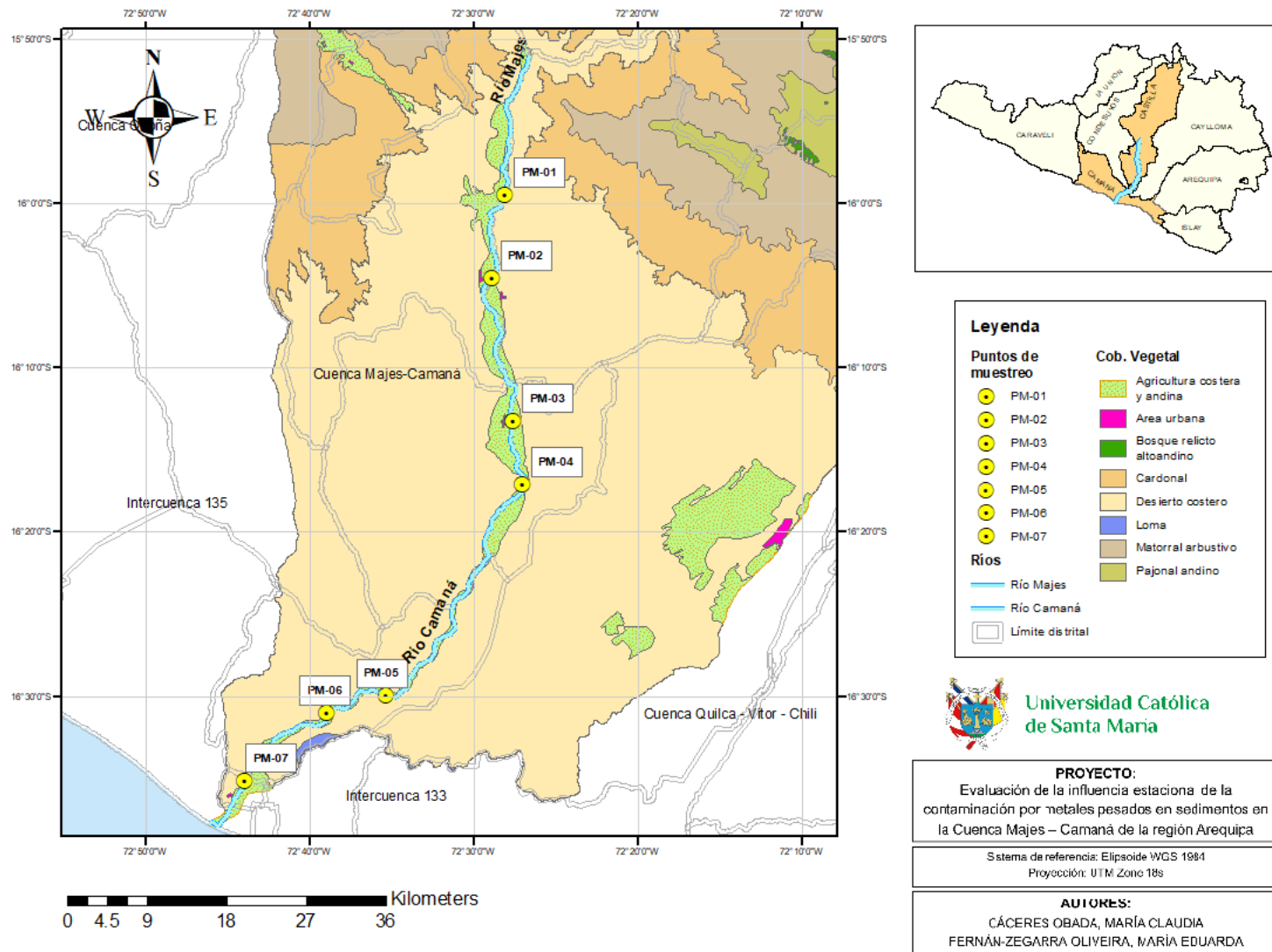


Figura 8. Mapa de cobertura vegetal en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná)

Fuente: Elaboración propia

La presencia aledaña de centros poblados (Fig. 9) también fue un factor indispensable al momento de la selección de los puntos de muestreo dado que, en el estudio realizado por Yuan, P. et al. (2020) se encontró que la principal fuente de contaminación de metales pesados en los sedimentos recuperados del reservorio Qingcaosha tuvieron un origen en los efluentes domésticos e industriales vertidos a este cuerpo de agua. Como se observa en el respectivo mapa temático de centros poblados (Fig 17), el cual se generó con información obtenida del último censo peruano; los centros poblados situados en la parte media-baja de la Cuenca Majes-Camaná exactamente alrededor de los ríos Majes y Camaná son un total de 131 con una población total de 26 683 (INEI, 2017), dividiéndose principalmente en anexos (33%), pueblos (31%) y caseríos (17%) (ANEXO 3). Centros poblados, de los cuales sus botaderos de residuos sólidos municipales y aguas residuales podrían ser otra fuente de contaminación para el río Majes-Camaná.

Por otro lado, se sabe que la actividad pesquera en el río Camaná y río Majes se centra en el camarón del río (*Cryphiops caemantarius*), actividad que se realiza desde la desembocadura del río Camaná-Majes hasta 1800 msnm aguas arriba y se lleva a cabo de manera autorizada desde marzo hasta diciembre. Se aproxima que durante dicho periodo se pescan 569 camarones diariamente (ANA, 2015). Este dato es relevante y se debe tomar en cuenta dado que los sedimentos tienen gran influencia en la calidad del agua y sobre los organismos bentónicos ya que los intercambios en la frontera agua/sedimento ocurren en la capa superficial (0-5 cm) donde se ubican las granjas camaronícolas; y al contacto de los camarones con los sedimentos, estos podrían incorporar y bioacumular metales pesados a través de las branquias y/o mediante la dieta, y dependiendo del tiempo de exposición y otros factores, tendrían el potencial de provocar un efecto tóxico en el organismo alterando algunos procesos fisiológicos (Frías-Espéricueta, M. G., et al., 2011) o incluso podría representar un riesgo para la salud humana por biomagnificación o consumo directo.

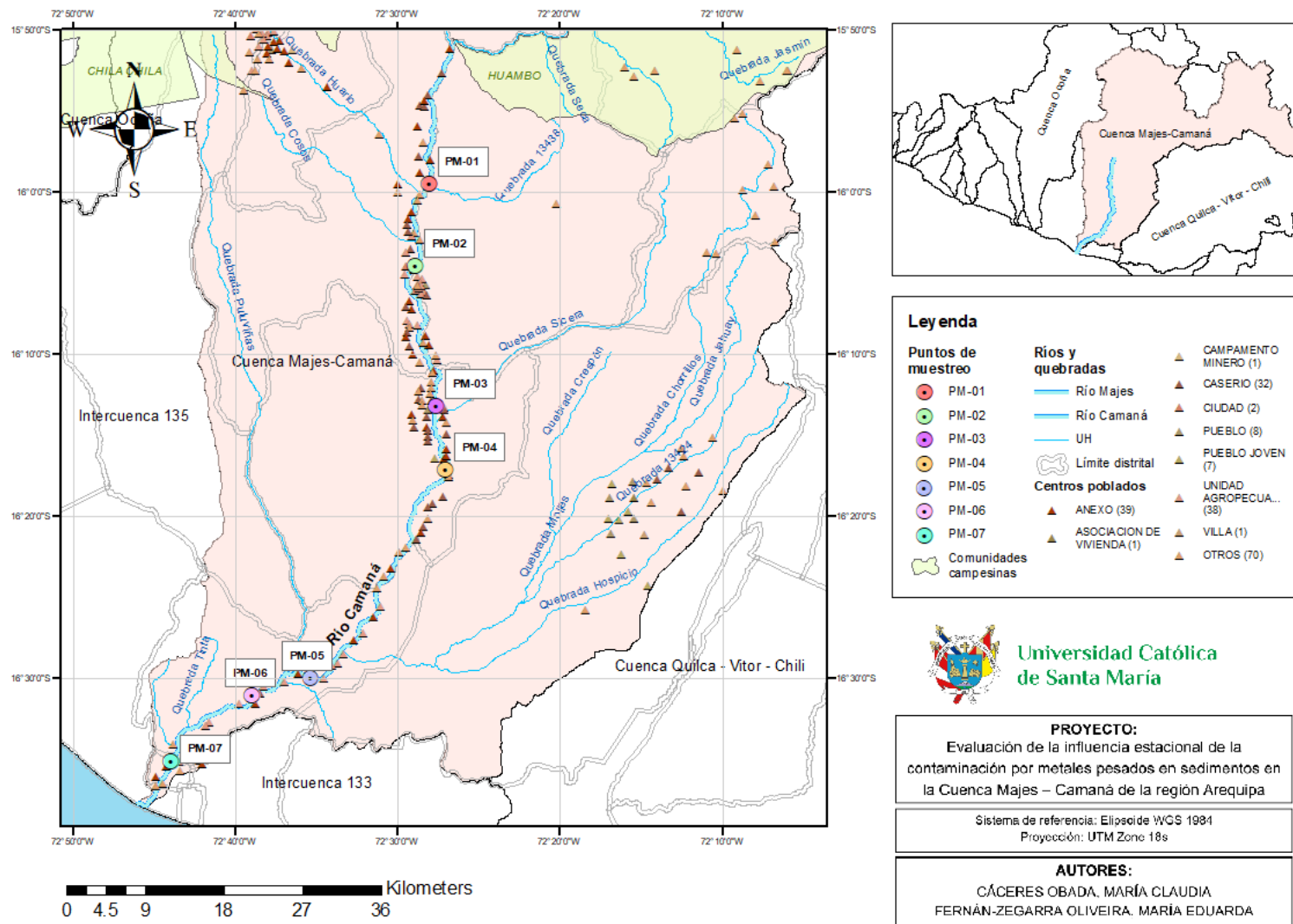


Figura 9. Mapa de centros poblados en la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná)

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Determinación de la concentración de metales pesados acumulados en sedimentos

Una vez tratadas las muestras de sedimentos, en el Laboratorio de calidad de la UCSM se determinaron las concentraciones de 7 metales pesados (mg/kg) mediante la técnica de Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES) de los 7 puntos de muestreo tomados durante la época de estiaje en los meses de agosto y septiembre del año 2022, que como se observa en la Tabla 12, en general el zinc resultó ser el metal con concentraciones más elevadas en todos los puntos, con un promedio de 45.95 mg/kg; mientras que el Cadmio fue el metal que presentó las concentraciones menos significativas, con un pico de solo 2.143 mg/kg.

**Tabla 12. Resultados del ICP-OES de concentración metales pesados por punto de muestreo en la época de estiaje**

<i>AÑO 2022</i>	<i>(mg/kg)</i>						
<b>ESTIAJE</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>PM-01</b>	9.107	0.714	11.607	27.5	10.357	6.964	41.25
<b>PM-02</b>	7.321	0	20.357	27.5	12.857	2.5	42.321
<b>PM-03</b>	7.679	0	21.786	35.536	14.643	3.214	40.893
<b>PM-04</b>	10.714	0	25	34.286	13.75	5.179	58.25
<b>PM-05</b>	10.536	0.714	32.857	31.25	14.643	3.571	56.786
<b>PM-06</b>	7.857	0	17.679	36.964	12.143	4.821	37.679
<b>PM-07</b>	7.679	2.143	21.071	31.429	12.857	2.5	44.464

*Fuente: Elaboración propia*

El diagrama de la Fig 10. muestra que en época de estiaje los metales As, Cd, Cu, Ni y Zn presentaron una tendencia de caja asimétrica con respecto a la línea central (mediana) y unos bigotes de distinta longitud que representan una alta dispersión de datos, con diferencias notorias entre los valores mínimos y máximos de cada metal respectivamente. En cuanto al Níquel, la falta del extremo del bigote superior indica una baja dispersión de datos más allá del rango intercuartil, es decir, que la concentración de este metal en todos los puntos es similar, e incluso su valor máximo (14.643 mg/kg) repite en dos puntos de muestreo (PM-03, PM-05). Por otro lado, el Cadmio fue el metal de menor incidencia, presentando un valor mínimo nulo en varios puntos de muestreo y llegando a un valor máximo de 2.143 mg/kg, el cual es considerado un valor atípico, ya que se diferencia mucho de los demás valores; representado como un rombo en el gráfico. Finalmente, el Zinc fue el metal de mayor incidencia (min 37.679 mg/kg, máx 56.786 mg/kg) en esta época seca, sin embargo, se observó una longitud de bigotes similar, lo que indica un sesgo de datos mínimo.

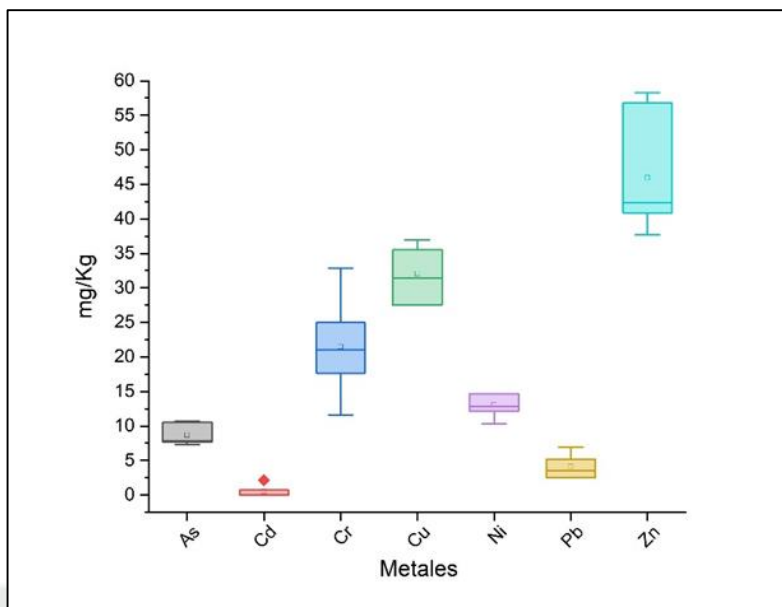


Figura 10. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de metales pesados en estiaje

*Fuente: Elaboración propia*

Contrariamente, los metales Cr, Cu y Pb presentaron una tendencia de caja proporcional con tendencia a la simetría con respecto a la línea central (mediana), mayormente con unos bigotes de diferente longitud que representan un sesgo de datos significativo de cada metal respectivamente. El Cromo con una longitud de bigotes muy similar en ambos lados, representa una distribución relativamente simétrica con un valor máximo de 32.857 mg/kg y un valor mínimo de 11.607 mg/kg. Por otro lado, el Cobre posee una longitud de bigotes desigual ya que carece de bigote inferior, evidenciando una similitud extremadamente alta entre su valor mínimo de 27.5 mg/kg y su  $Q_1$ . Además, presenta un valor máximo de 36.964 mg/kg. Finalmente, el Plomo carece de la presencia de un límite de bigote superior marcado, probablemente debido a la alta similitud entre su valor máximo de 6.964 mg/kg y el cálculo de su  $Q_3$ . Además, presenta un valor mínimo de 2.5 mg/kg, con valores intermedios similares en orden ascendente.

Continuando con la época de avenida, en la Tabla 13 se observa las concentraciones de metales pesados (mg/kg) obtenidas que al igual que la época de estiaje, el zinc registró ser el metal con concentraciones más elevadas en todos los puntos, con un nuevo promedio de 41.05 mg/kg; mientras que el Cadmio fue el que presentó las concentraciones menos significativas, incluso con respecto al año 2022 con un total máximo de tan solo 0.714 mg/kg, representando un aproximado del 33% del total máximo de Cadmio del año 2022.

**Tabla 13. Resultados del ICP-OES de concentración metales pesados por punto de muestreo en la época de avenida**

AÑO 2023	(mg/kg)						
AVENIDA	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
PM-01	9,107	0,000	25,000	40,000	14,643	8,571	48,750
PM-02	6,964	0,000	8,214	25,714	9,286	6,786	26,786
PM-03	8,214	0,000	12,143	32,143	10,536	8,929	45,179
PM-04	6,429	0,000	11,964	25,536	10,536	2,857	24,821
PM-05	8,393	0,000	10,893	32,500	11,071	6,964	43,393
PM-06	9,464	0,000	12,143	31,071	12,143	6,964	48,571
PM-07	6,964	0,714	33,393	26,786	14,821	1,964	49,821

Fuente: Elaboración propia

La Fig 11. muestra que, en la época de avenida, únicamente la distribución de la concentración de Arsénico fue simétrica, y de igual manera los bigotes con longitud similar en ambos lados indican que no hay un sesgo de datos significativo; siendo su valor mínimo de 6,429 mg/kg, y sin mucha varianza, un valor máximo de 9.464 mg/kg, además de no presentar valores atípicos.

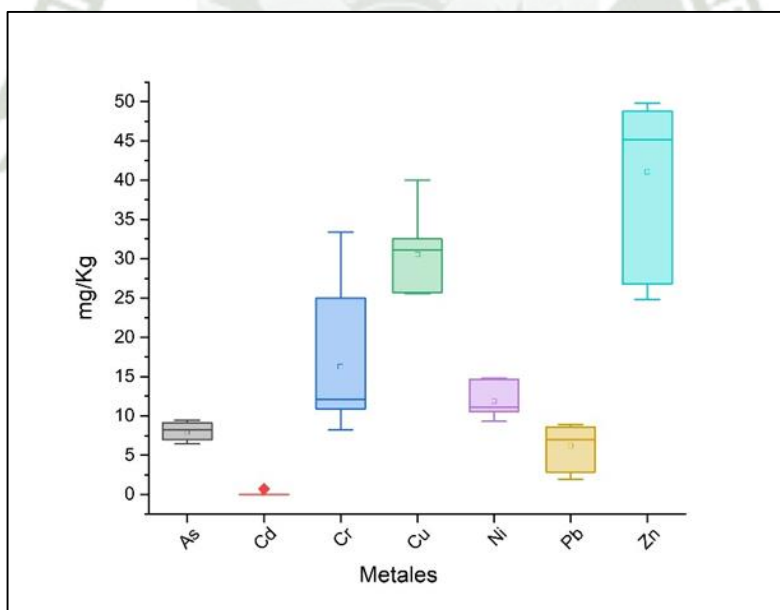


Figura 11. Diagrama de caja y bigotes de la concentración de metales pesados en avenida

Fuente: Elaboración propia

Mientras que en el resto de los metales Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn se observa una forma de caja asimétrica, lo que indica una alta dispersión de datos. El Cadmio fue el metal de menor incidencia y presenta un

valor mínimo nulo en todos los puntos de muestreo, con excepción del PM-07 con un valor máximo de 0.714 mg/kg, considerado un valor atípico, pues destaca entre todos los puntos de muestreo; representado como un rombo en el gráfico. El Cr y Cu presentaron una mayor longitud en su bigote superior, denotando una similitud entre sus valores mínimos de 8.214 mg/kg y 25,714 mg/kg, respectivamente, con relación al cálculo de su rango intercuartil. Además, presentaron concentraciones máximas de 33.393 mg/kg y 40.000 mg/kg, respectivamente. En cuanto al Níquel y el Plomo, la falta del extremo del bigote superior indica una baja diferencia en la concentración de sus valores máximos (14.821 mg/kg; 8.929 mg/kg) con respecto al rango intercuartil, es decir, que la concentración de este metal en todos los puntos es similar o no presenta ningún valor atípico, con un valor mínimo de 9.286 mg/kg y 1.964 mg/kg, respectivamente.

Es entonces que, determinando la concentración de los metales pesados acumulados en los sedimentos de la cuenca Majes-Camaná mediante ICP-OES, se obtuvo que el Zn es el metal con concentraciones más elevadas en todos los puntos, con un valor máximo de 58.25 mg/kg (PM-04) y un valor mínimo de 37.679 mg/kg (PM-06) en la estación de estiaje, de igual manera, un valor máximo de 49.821 mg/kg (PM-07) y un valor mínimo de 24.821 mg/kg (PM-04) en la estación de avenida; mientras que el Cd fue el que presentó las concentraciones menos significativas, con un valor máximo de 2.143 mg/kg (PM-07) y valores mínimos nulos en la estación de estiaje, y un único valor máximo de 0.714 mg/kg en la estación de avenida (PM-07). Se observó que, en la estación de estiaje, los valores más altos de cada metal tendían a estar más presentes en el PM-05, con la excepción del Cu y Pb; y en la estación de avenida, los valores más altos de cada metal tendían a estar presentes en el PM-01, con la excepción del Cd, seguidos del PM-07, donde la incidencia de los valores máximos de los metales fueron todos con la excepción del As, Cu y Pb. Además, la concentración media de metales pesados siguió esta tendencia en ambas estaciones:  $Zn > Cu > Cr > Ni > As > Pb > Cd$ .

El zinc es un metal muy abundante en la corteza terrestre, con una concentración media de 70 mg/kg; y en aguas superficiales se encuentran en forma inorgánica, iónica o coloidal, siendo las especies más frecuentes  $Zn^{2+}$ ,  $Zn(OH)^+$  y  $ZnCl_3$ . Sus compuestos poco solubles (hidróxidos y carbonatos) tienen la capacidad de adsorberse fuertemente sobre los sedimentos y lodos que se encuentran en el fondo de los cauces hídricos (Usero, et al., 2017). Según Adriano (1986), el Zn metálico es liberado principalmente por la minería en grandes cantidades y puede resultar muy dañino para el ambiente, ya que puede acumularse en los sedimentos de los ríos y en la biota acuática. Y como se observó en la Fig 7 basada en la data oficial de GEOCATMIN (2023), es muy probable que esta concentración de Zn sea proveniente de dicha actividad antrópica.

Coincidentemente, en el estudio realizado por Yuan, P. et al (2020) y el estudio realizado por Zhao, S. et al. (2014), se obtuvo que el Zn fue el metal más abundante en las muestras de sedimentos en todas las estaciones muestreadas. Igualmente, D. Vasile, G., et al. (2010) realizó un estudio cuyo principal propósito fue determinar la concentración de Zn en sedimentos extraídos de un río situado al suroeste de Rumania, en una región sujeta a intensa actividad minera de largo plazo donde aparentemente, la fuente de este aumento de concentración es la entrada de contaminación procedente de aguas superficiales contaminadas ya sea por las aguas de la mina que desembocan en el río o por las aguas de cantera y aguas de lixiviación de vertedero.

Por otro lado, algo que destacó fue el hecho de que en el PM-04, la concentración de Zinc alcanzó tanto su valor más alto en la estación de estiaje, como su valor más bajo en la estación de avenida. El PM-04 está justo en la división del río Majes con el río Camaná y, como se mencionó anteriormente, en el valle de Majes, los cultivos más sembrados en la campaña principal son el arroz, alfalfa, maíz Chala, caña de azúcar, maíz grano, tomate, cebolla. Las siembras se dan justamente entre los meses de Julio y Setiembre (campaña principal), coincidiendo con los meses de la estación de estiaje. Por otro lado, los valles de Camaná se convirtieron en productores de arroz y cereales y, según ANA (2015), el arroz representa actualmente casi el 90% de su producción, constituyendo el 10% restante cultivos de fréjol, maíz, camote, ajo, pallar, alfalfa y frutas (pocas). Es posible, entonces, relacionar que la alta concentración de zinc en la estación de estiaje se debió a que la campaña agrícola más grande e importante coincide con dicha estación, por lo que las actividades agrícolas tendrían un efecto directo, por ejemplo, por el uso de fertilizantes nitrogenados con elevado contenido en Zn, lo que trae como consecuencia la acumulación de estos metales en el suelo debido al uso constante de los mismos (Villareal, J. et al., 2018).

Asimismo, el cadmio también tuvo un comportamiento similar en el PM-07, donde presentó su concentración máxima en ambas estaciones, mientras que en los demás puntos de muestreo sus valores fueron mínimos o nulos, lo que indicaría que en esta zona existe alguna actividad antrópica externa responsable de este pico en su concentración. Entre las principales actividades económicas asociadas a concentraciones significativas de cadmio en el medio ambiente se incluyen a la minería, la industria metalúrgica, la producción y uso de fertilizantes y pesticidas y la incineración de residuos. La minería y fundición de zinc, plomo y cobre son fuentes significativas de emisiones de cadmio y, durante estos procesos, el cadmio, que está presente en los minerales extraídos, se libera al medio ambiente (Alloway, B. J., 2013). Además, y previamente expuesto, en la agricultura, los fertilizantes fosfatados contienen Cd como impureza, cuya aplicación contribuye a su acumulación en los suelos (Grant, C. A., &

Sheppard, S. C., 2008) y; de igual manera, el uso de pesticidas que contienen este metal puede llevar a la contaminación de suelos y aguas (Nicholson, F. A., et al., 2003). Otro factor viene a ser la incineración de residuos municipales y residuos industriales que liberan Cd al aire, el cual puede depositarse posteriormente en suelos y cuerpos de agua (Pacyna, J. M., & Pacyna, E. G., 2001).

#### 4.2.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos época de estiaje y avenida en la Cuenca Majes-Camaná

Como se puede observar en la Tabla 14, tanto los valores promedio de pH, conductividad eléctrica y salinidad fueron significativamente más altos en la estación de avenida; con un pH ligeramente básico en ambas estaciones. Es sabido que el pH, la conductividad eléctrica y la salinidad influyen significativamente en la adsorción y movilidad de los metales en los sedimentos; por ejemplo, el pH ligeramente básico, la conductividad eléctrica moderada y la salinidad moderada en la estación de estiaje favorecen la adsorción máxima de los metales, sin embargo, la alta conductividad eléctrica y salinidad presentes en la estación de avenida puede reducir la adsorción debido a una mayor competencia iónica (Sadiq, M., 1992); (Salomons, W., & Förstner, U., 1984); (Bryan, G. W., & Langston, W. J., 1992).

**Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos en época de estiaje y avenida en la Cuenca Majes-Camaná**

<i>Periodo</i>	<i>ESTIAJE 2022</i>			<i>AVENIDA 2023</i>		
<b>Código</b>	<b>pH PROM</b>	<b>CE PROM (us/cm)</b>	<b>SAL PROM (%)</b>	<b>pH PROM</b>	<b>CE PROM (us/cm)</b>	<b>SAL PROM (%)</b>
<b>PM_01</b>	7.782	259.6	0.5	8.25	627.13	1.20
<b>PM_02</b>	7.798	258.1	0.5	8.47	654.35	1.30
<b>PM_03</b>	7.964	272.633	0.467	8.57	715.90	1.40
<b>PM_04</b>	7.969	205.367	0.400	8.50	775.67	1.50
<b>PM_05</b>	7.924	288.133	0.567	8.38	806.63	1.60
<b>PM_06</b>	7.356	318.467	0.600	8.28	787.40	1.53
<b>PM_07</b>	7.595	399.850	0.800	8.33	804.37	1.53

*Fuente: Elaboración propia*

Se destacan diferencias importantes en los parámetros fisicoquímicos de ambas estaciones y su relación con la disponibilidad del Zinc ya que, en la estación de estiaje, tanto el pH, la conductividad eléctrica

y la salinidad resultaron significativamente menores con un valor promedio en el PM-04 de 7.969, 205.367 us/cm y 0.400 % respectivamente; a diferencia de la estación de avenida con valores promedio más altos de 8.50, 775.67 us/cm y 1.50% respectivamente. En la estación de estiaje, la combinación de un pH cercano al 8, es decir, ligeramente básico permite a los metales como el Zn formar complejos menos solubles, lo que puede resultar en una mayor adsorción en los sedimentos (Stumm, W., & Morgan, J. J., 1996).

Asimismo, una conductividad eléctrica más baja indica una menor cantidad de iones disueltos en el agua, lo cual puede sugerir una menor presencia de “competidores iónicos” para su adsorción, permitiendo que más Zn se adsorba en los sedimentos (Davis, M. L., & Masten, S. J., 2013). Finalmente, una salinidad más baja sugiere menos iones presentes en el agua, lo que, al igual que con la conductividad eléctrica, puede resultar en una mayor adsorción del Zn en los sedimentos (Boyd, C. E., 2015).

Los parámetros fisicoquímicos también deben ser considerados: en el PM-07 de la estación de estiaje, los valores promedio de pH, conductividad eléctrica y salinidad fueron de 7.595, 399.850 us/cm, y 0.800% respectivamente; en la estación de avenida los valores promedio de pH, conductividad eléctrica y salinidad fueron de 8.33, 804.37 us/cm y 1.53% respectivamente. Según Sadiq, M. (1992), el pH del agua influye significativamente en la solubilidad y la especiación del cadmio, con una mayor adsorción en sedimentos observada en condiciones ligeramente alcalinas como es el caso de ambas estaciones; en cuanto a la conductividad eléctrica, el PM-07 de ambas estaciones destacan por tener los valores más altos y, según (Salomons, W., & Förstner, U., 1984) una conductividad eléctrica moderada indica una concentración moderada de iones disueltos, lo que puede significar una menor competencia iónica y una mayor adsorción del cadmio en los sedimentos; sin embargo, una conductividad eléctrica más alta (PM-07 avenida) sugiere una mayor cantidad de iones disueltos, lo que podría aumentar la competencia por los sitios de adsorción en los sedimentos y potencialmente reducir su adsorción.

Finalmente, en cuanto a la salinidad, de igual manera en el PM-07 de ambas estaciones se observó los valores más altos en comparación a los demás puntos de muestreo, siendo que una salinidad más alta indica una mayor concentración de iones disueltos que pueden competir con el cadmio por los sitios de adsorción en los sedimentos, lo que podría reducir su adsorción (Bryan, G. W., & Langston, W. J., 1992), por lo que la posibilidad de una fuente contaminante externa es la más aceptada.

#### 4.2.2. Relación de datos con la Guía de Calidad Ambiental Canadiense (CEQG) - Línea Guía para la calidad de sedimentos en aguas continentales

Posteriormente, los resultados fueron comparados con los valores de la Guía canadiense para sedimentos en aguas continentales (CCME, 2001) para tener una referencia de si dichos valores exceden los límites que puedan causar un efecto biológico adverso, ya que en la actualidad no existe una guía nacional que indique lo mismo (respecto a sedimentos).

En la siguiente Tabla se presentan las concentraciones de metales de nuestro estudio durante la época de estiaje que superaron los valores (ISQG y PEL) registrados de la guía de calidad ambiental canadiense para la protección de la vida acuática; siendo únicamente el Níquel el metal sin valores referencia en esta guía.

**Tabla 15. Concentración de MP en sedimentos en referencia a la CEQG-Estiaje**

Cuerpo de agua	Código	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Río Majes	PM-01	9,107	0,714	11,607	27,5	10,357	6,964	41,25
Río Majes	PM-02	7,321	0	20,357	27,5	12,857	2,5	42,321
Río Majes	PM-03	7,679	0	21,786	35,536	14,643	3,214	40,893
Río Majes	PM-04	10,714	0	25	34,286	13,75	5,179	58,25
Río Camaná	PM-05	10,536	0,714	32,857	31,25	14,643	3,571	56,786
Río Camaná	PM-06	7,857	0	17,679	36,964	12,143	4,821	37,679
Río Camaná	PM-07	7,679	2,143	21,071	31,429	12,857	2,5	44,464
Guía Canadiense	ISQG	5,9	0,6	37,3	35,7	ND	35	123
	PEL	17	3,5	90	197	ND	91,3	315

■: Resultado que excede el valor ISQG, pero no el Valor PEL de las CCME-SQG

■: Resultado que excede el valor PEL de las CCME-SQG

ISQG (Interim Sediment Quality Guideline): Concentración por debajo de la cual no se debe presentar efecto biológico adverso

PEL (Probable Effect Level): Concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 15, se observa que las concentraciones de arsénico excedieron el valor ISQG en todos los puntos de muestreo, siendo el PM-04 el que superó este valor por casi el doble, mas no llega a pasar el valor PEL de la guía canadiense. Por otro lado, solo el PM-01, PM-05 y PM-07 excedieron el valor ISQG del cadmio; y el PM-06 fue el único que excedió el valor ISQG del cobre, sin embargo, el resto de los puntos se encuentran muy cerca a este. El resto de los metales durante esta época no excedieron ningún valor de la guía canadiense. En caso del Níquel, se tomó el valor referencia de 21 mg/kg proveniente de la Guía Australiana y de Nueva Zelanda (DGV), aun así, ninguna concentración registrada de Ni superó este mismo (ANEXO 6).

De acuerdo con la Tabla 16, en el PM-01, los únicos metales excedentes en el valor de ISQG del estándar de comparación son el Arsénico y el Cobre. También, las concentraciones de Arsénico superaron el valor ISQG en todos los puntos de muestreo seleccionados a lo largo de la cuenca Majes-Camaná. Finalmente, en el PM-07 el Cadmio fue el único metal en exceder el valor de ISQG del estándar de comparación. Al igual que en la anterior estación, los valores de Ni no superaron la Guía Australiana y de Nueva Zelanda (DGV) (ANEXO 6).

**Tabla 16. Concentración de MP en sedimentos en referencia a la CEQG-Avenida**

Cuerpo de agua	Código	Arsénico (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)	Cromo (mg/kg)	Cobre (mg/kg)	Níquel (mg/kg)	Plomo (mg/kg)	Zinc (mg/kg)
Río Majes	PM-01	9,107	0,000	25,000	40,000	14,643	8,571	48,750
Río Majes	PM-02	6,964	0,000	8,214	25,714	9,286	6,786	26,786
Río Majes	PM-03	8,214	0,000	12,143	32,143	10,536	8,929	45,179
Río Majes	PM-04	6,429	0,000	11,964	25,536	10,536	2,857	24,821
Río Camaná	PM-05	8,393	0,000	10,893	32,500	11,071	6,964	43,393
Río Camaná	PM-06	9,464	0,000	12,143	31,071	12,143	6,964	48,571
Río Camaná	PM-07	6,964	0,714	33,393	26,786	14,821	1,964	49,821
<b>Guía Canadiense</b>	<b>ISQG</b>	5,9	0,6	37,3	35,7	ND	35	123
	<b>PEL</b>	17	3,5	90	197	ND	91,3	315

■: Resultado que excede el valor ISQG, pero no el Valor PEL de las CCME-SQG

■: Resultado que excede el valor PEL de las CCME-SQG

*Fuente: Elaboración propia*

Con respecto al análisis de la influencia estacional en la acumulación y relación de los metales pesados en sedimentos en el río Majes-Camaná, gracias a los resultados obtenidos de concentración para las dos distintas épocas (avenida y estiaje) que indican de forma general un mayor nivel de MP durante la época seca; que junto a los índices y otros factores externos lograron determinar la significancia del cambio de estación en la dinámica y transporte de sedimentos en el río Majes y Camaná. Por un lado, se sabe que los periodos hidrológicos pueden afectar la cantidad y distribución de sedimentos en el cauce, así como su transporte y disposición, como en el estudio de Nguyen, B. T. et al (2020), donde se registró una gran diferenciación en los resultados de época húmeda y seca, siendo 11 metales los que registraron una concentración significativamente mayor en la temporada de lluvias y mayor en la parte alta que en la parte baja, lo cual indica que podría haber sido causado por una mayor erosión de suelo y transporte de materiales sólidos erosionados como los materiales parentales del suelo (roca madre) desde la parte alta de la cuenca hasta depositarlos aguas abajo del río Saigón en Vietnam. Mientras que la temporada seca podría haber provocado la pérdida de agua de los ríos por evaporación, aumento en las

concentraciones de materiales suspendidos y elementos disueltos, incluidos los MP.

Esto indicaría que predomina la erosión hídrica y la escorrentía de materiales que contienen metales pesados de la cuenca superior y de desechos industriales y municipales de las industrias y centros residenciales que rodean este río en Vietnam. Estos hallazgos fueron similares a otros estudios, como el de Yuan, P., et al. (2020), donde atribuyeron la mayor concentración de metales como Cd, Cr, Cu y Zn en sedimentos durante la época húmeda a una mayor escorrentía causada por la lluvia que transportaba y depositaba los materiales con metales pesados, como residuos industriales no tratados y desechos agrícolas a los sitios de muestreo estudiados.

Contrariamente, en el estudio de Redwan, M et al. (2017) encontraron que la concentración media de algunos metales como Zn, Cr, Ni, Cu y Co en los sedimentos recolectados del lago Qarun en Egipto fueron mayores durante el verano que en invierno, lo que se atribuyó principalmente a la dilución por el agua de lluvia durante la época húmeda que influye también a la movilidad de los metales pesados; a la concentración por evapotranspiración durante la época seca y al impacto de distintas fuentes antrópicas como aguas residuales agrícolas, industriales, municipales y piscifactorías al rededor del lago. De manera similar Nur Amirah, H. M. et al. (2023) reportaron que los niveles de metales pesados en sedimentos de época seca fueron mayores en el río Seti, probablemente debido a la dilución de MP en el sistema acuático a través de la precipitación, además de la variación de temperatura, salinidad y pH.

#### **4.3. Análisis de la influencia estacional de la contaminación y relación de metales pesados en sedimentos de la cuenca Majes-Camaná**

##### **4.3.1. Determinación del índice de geo-acumulación ( $I_{geo}$ ) para los resultados de concentración de metales pesados en la época de estiaje y avenida**

Se calculó el índice de geoacumulación para cada metal específico igualmente tomando de referencia los niveles de fondo de Martínez (2009), y como indica la Tabla 17, en la temporada de estiaje se presenta una ligera contaminación por metales de Cromo y Cobre; sin embargo, en la temporada de avenida se presentó únicamente una ligera contaminación por Cobre; siendo que en el resto de los metales para ambas temporadas se categorizan como sin contaminar o limpio según la escala predeterminada (Tabla 10).

**Tabla 17. Valores de factor de índice de geo acumulación (Igeo) por metal pesado en épocas de estiaje y avenida**

<i>Metal</i>	<i>I geo Estiaje</i>	<i>I geo Avenida</i>	<i>Categoría Estiaje</i>	<i>Categoría Avenida</i>
<b>As</b>	-1.552	-1.684	Sin contaminar	Sin contaminar
<b>Cd</b>	1.766	-0.556	Sin contaminar	Sin contaminar
<b>Cr</b>	0.022	-0.380	Ligeramente contaminada	Sin contaminar
<b>Cu</b>	0.502	0.431	Ligeramente contaminada	Ligeramente contaminada
<b>Ni</b>	-1.353	-1.489	Sin contaminar	Sin contaminar
<b>Pb</b>	-2.463	-1.881	Sin contaminar	Sin contaminar
<b>Zn</b>	-0.896	-1.059	Sin contaminar	Sin contaminar

*Fuente: Elaboración propia*

Respecto a los resultados obtenidos del índice de geoacumulación, los cuales en comparativa con la región de Murcia, España (Martínez, S., 2009) indicaron que solo existía una ligera contaminación de Cr y Cu en estiaje y solo de Cu en avenida (Tabla 18); para un mejor análisis, se realizó otra comparativa con dos referencias adicionales de valores de fondo determinados en La Mancha, España (Jiménez, R. et al., 2010) y en la Subcuenca Linga, Perú (Fernández, V. & Cereceda, I., 2021), los cuales fueron escogidos por sus características químicas ligadas a variabilidad litológica y tipo de suelo similares.

**Tabla 18. Comparación de niveles de fondo de MP de tres referencias respecto al Igeo del río Majes-Camaná en época de estiaje**

<i>Metal</i>	<i>I geo Estiaje</i>			<i>Categoría Estiaje</i>		
	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 2.</b>	<b>Ref 3.</b>	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 2.</b>	<b>Ref 3.</b>
<b>As</b>	-1.552	0.015	-2.056	Limpio	Ligero	Limpio
<b>Cd</b>	1.766	-3.556	1.088	Moderado	Limpio	Limpio
<b>Cr</b>	0.022	-1.981	-0.064	Ligero	Limpio	Moderado
<b>Cu</b>	0.502	1.112	-1.302	Ligero	Moderado	Limpio
<b>Ni</b>	-1.353	-1.260	-0.333	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Pb</b>	-2.463	-2.156	-2.734	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Zn</b>	-0.896	-0.072	-1.118	Limpio	Limpio	Limpio

\*Referencia 1. Región de Murcia, España, 2009

\*Referencia 2. Región Castilla-La Mancha, España, 2010

\*Referencia 3. Subcuenca Linga, Arequipa, Perú, 2021

*Fuente: Elaboración propia*

En la Tabla 18 se observó que, para el periodo de estiaje, los únicos tres metales que no registraron contaminación coincidentemente en las tres referencias fueron Ni, Pb y Zn, siendo que en el resto de MP son categorizados de distintas maneras; por ello es importante mencionar que a pesar de las

similitudes en sus características químicas, cada región tiene sus propia variabilidad litológica, por lo que para una evaluación más precisa, hubiera sido ideal trabajar con valores de fondo propios para la cuenca Majes-Camaná. Aun así, esta comparativa brindó información útil y coincidente con los otros índices y resultados obtenidos, especialmente la referencia 1.

**Tabla 19. Comparación de niveles de fondo de MP de tres referencias respecto al Igeo del río Majes-Camaná en época de avenida**

<i>Metal</i>	<i>I geo Avenida</i>			<i>Categoría Avenida</i>		
	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 1.</b>	<b>Ref 2.</b>	<b>Ref 3.</b>
<b>As</b>	-1.684	-0.118	-2.189	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Cd</b>	-0.556	-5.878	-1.234	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Cr</b>	-0.380	-2.384	-0.467	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Cu</b>	0.431	1.041	-1.373	Ligero	Moderado	Limpio
<b>Ni</b>	-1.489	-1.396	-0.470	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Pb</b>	-1.881	-1.574	-2.152	Limpio	Limpio	Limpio
<b>Zn</b>	-1.059	-0.234	-1.280	Limpio	Limpio	Limpio

\*Referencia 1. Región de Murcia, España, 2009

\*Referencia 2. Región Castilla-La Mancha, España, 2010

\*Referencia 3. Subcuenca Linga, Arequipa, Perú, 2021

*Fuente: Elaboración propia*

Con una gran diferencia para los resultados de Igeo en la época de avenida, en la Tabla 19 se observó que todos los MP fueron categorizados como limpios (no contaminantes), con excepción de la contaminación moderada del Cu como indica la referencia 2. Esto estaría denotando que la época seca presentó mayor contaminación con diferencia respecto a la época húmeda, lo cual se podría deber no tanto al cambio de estación en sí, sino al cambio de actividades antropogénicas que se da durante estos meses, los cuales ya fueron mencionados.

#### **4.3.2. Determinación de índice de carga contaminante (PLI) para los resultados de concentración de metales pesados en la época de estiaje y avenida**

Se determinó el nivel de toxicidad de los sedimentos utilizando el índice de carga contaminante (PLI) tomando como referencia bibliográfica las concentraciones de niveles de fondo mostradas por Silvia Martínez (2009) en la región de Murcia, España; considerando la similitud del tipo de suelo sedimentario en los siete puntos de monitoreo.

**Tabla 20. Valores de los índices de factor de contaminación PLI en épocas de estiaje y avenida**

<i>Metal</i>	<i>Fondo, µg/Kg</i>	<i>Estiaje, µg/Kg</i>	<i>Avenida, µg/Kg</i>	<i>PLI Estiaje</i>	<i>PLI Avenida</i>
<b>As</b>	12.000	8.699	7.934	0.725	0.661
<b>Cd</b>	2.000	0.510	0.102	0.255	0.051
<b>Cr</b>	14.110	21.480	16.250	1.522	1.152
<b>Cu</b>	15.070	32.066	30.536	2.128	2.026
<b>Ni</b>	22.240	13.036	11.862	0.586	0.533
<b>Pb</b>	15.080	4.107	6.148	0.272	0.408
<b>Zn</b>	57.000	45.949	41.046	0.806	0.720

0: No hay contaminación; 1: Nivel básico de contaminación; > 1: Nivel alto de contaminación

*Fuente: Elaboración propia*

Como se observa en la Tabla 20, el valor promedio calculado del PLI en la época de estiaje y avenida es de 0.69 y 0.53 respectivamente, concluyendo que en las temporadas estudiadas ambos suelos no presentan contaminación según las escalas de clasificación. Sin embargo, de manera individual, se identificó que para ambas épocas los únicos metales que presentaron un nivel alto de contaminación (>1) fueron Cr y Cu.

Igualmente, se realizó la comparativa de las concentraciones de los siete MP con las mismas tres referencias de niveles de fondo vistas en la Tabla 19, resultando en la Tabla 21 para ambas épocas, la cual simplemente nos indicó que la carga contaminante en estiaje sería mayor en promedio, coincidiendo con el Igeo; aunque únicamente la referencia 2 indicaría que este sí existe una contaminación básica promedio en esta época.

**Tabla 21. Comparación de PLI con tres distintas referencias de niveles de fondo para el río Majes-Camaná**

<i>Referencia</i>	<i>PLI Estiaje</i>	<i>PLI Avenida</i>
<b>Ref 1</b>	0.686	0.528
<b>Ref 2</b>	1.012	0.779
<b>Ref 3</b>	0.786	0.605

\*Referencia 1. Región de Murcia, España, 2009

\*Referencia 2. Región Castilla-La Mancha, España, 2010

\*Referencia 3. Subcuenca Linga, Arequipa, Perú, 2021

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.4. Análisis estadístico

##### 4.4.1. Análisis de varianza, concentración media y desviación estándar

Los resultados hallados ofrecen reportar el análisis de varianza (ANOVA) como se muestra en la Tabla 22, donde se evaluó los valores F y P para las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn.

**Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) de concentración de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos de la cuenca hídrica Majes - Camaná**

Metal	Valor F	Valor P
As	1.200	0.294
Cd	1.660	0.223
Cr	1.490	0.246
Cu	0.410	0.536
Ni	1.410	0.258
Pb	2.930	0.113
Zn	0.930	0.353

*Fuente: Elaboración propia*

Para el análisis estadístico de las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo y zinc se reporta que todos los valores P no son menores a 0.05 y por lo tanto no se muestra evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula para los metales evaluados. Por otro lado, en cuanto al valor F el plomo reportó un valor F alto de 2.930 interpretándose que la variabilidad de concentraciones de plomo es relativamente alta en comparación a los otros metales estudiados, no siendo suficiente para concluir que es estadísticamente significativa. Por lo tanto, los resultados del ANOVA indican que las concentraciones calculadas entre las épocas de estiaje y avenida son atribuibles al azar, ya que ninguna de las concentraciones de los metales muestra una diferencia estadísticamente significativa.

Adicionalmente, la evaluación de la diferencia entre las medias de los niveles de estiaje y avenida correspondientes no son significativamente diferentes de acuerdo a las comparaciones en parejas de Tukey para cada uno de los metales evaluados en la temporada de avenida y estiaje a lo largo de los 07 puntos de muestreo, complementando el resultado que al agrupar la información en un nivel de confianza del 95% comparten la misma agrupación. Por otro lado, se complementa al resultado en el ANEXO 4 donde se detalla los gráficos de intervalos entre el estiaje y la avenida.

**Tabla 23. Concentración media (mg/kg) y desviación estándar (SE) de los metales pesados**

<i>Parámetro</i>	<i>Estadística</i>	<i>Estiaje</i>	<i>Avenida</i>
<b>As</b>	Media	8,699	7,934
	SE	1,431	1,166
<b>Cd</b>	Media	0,510	0,102
	SE	0,795	0,270
<b>Cr</b>	Media	21,480	16,250
	SE	6,523	9,272
<b>Cu</b>	Media	32,066	30,536
	SE	3,736	5,141
<b>Ni</b>	Media	13,036	11,862
	SE	1,512	2,135
<b>Pb</b>	Media	4,107	6,148
	SE	1,637	2,698
<b>Zn</b>	Media	45,949	41,046
	SE	8,167	10,663

*Fuente: Elaboración propia*

En cuanto a la medida de la media, se muestra que la distribución de la concentración media de todos los elementos metálicos es mayor en la estación de estiaje siendo el más alto el Zn (45,949 mg/kg) > Cu (32,066 mg/kg) > Cr (21,480 mg/kg) > Ni (13,036 mg/kg) > As (8,699 mg/kg) > Cd (0,510 mg/kg); excepto el Pb con una concentración media de 4,107 mg/kg en la estación de estiaje; y una concentración media de 6,148 mg/kg en la estación de avenida. El comportamiento general para la concentración media fue que aumentó únicamente la concentración de Pb al pasar de la temporada de estiaje a la temporada de avenida.

En relación con la media, asimismo se calculó la desviación estándar de la concentración de metales pesados (mg/kg) para ambas estaciones, donde se observa que la consistencia de los datos fue ligeramente mayor en la época de avenida, indicando que los valores de concentración están más dispersos alrededor de la media, lo que sugiere una mayor variabilidad de datos, es decir, que la presencia de metales pesados en los distintos 7 puntos de muestreo variaron significativamente de punto en punto, siendo más notorio con el Cr (9,272 mg/kg) y en el Zn (10,663 mg/kg); mientras que en general la época de estiaje presentó una desviación estándar menor que la anterior, significando que los valores de concentración de metales pesados están relativamente más cerca de la media y que hay poca variabilidad de datos, es decir que la presencia de cada metal pesado en todos los puntos fue similar entre sí, destacando la menor dispersión en el Cd (0,795 mg/kg) y el Ni (1,512 mg/kg).

#### 4.4.2. Análisis de correlación de Pearson (CA)

Se analizaron las correlaciones de Pearson de metales pesados en sedimentos en los 7 puntos de muestreo en la época de estiaje y en la época de avenida para inferir la correlación entre los metales pesados y el comportamiento geoquímico de estos durante ambas épocas, como se observa en la siguiente Tabla 24:

**Tabla 24. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre metales pesados en muestras de sedimento de la cuenca Majes-Camaná**

<i>Estiaje</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<b>As</b>	1,000*						
<b>Cd</b>	-0,085	1,000*					
<b>Cr</b>	0,514	0,006	1,000*				
<b>Cu</b>	0,012	-0,292	0,215	1,000*			
<b>Ni</b>	0,219	-0,159	0,869*	0,432	1,000*		
<b>Pb</b>	0,463	-0,229	-0,485	-0,040	-0,623	1,000*	
<b>Zn</b>	0,876*	0,031	0,775*	-0,003	0,526	0,010	1,000*
<i>Avenida</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<b>As</b>	1,000*						
<b>Cd</b>	-0,367	1,000*					
<b>Cr</b>	-0,031	0,815*	1,000*				
<b>Cu</b>	0,810*	-0,322	0,208	1,000*			
<b>Ni</b>	0,307	0,611	0,926*	0,467	1,000*		
<b>Pb</b>	0,723	-0,684	-0,404	0,703	-0,203	1,000*	
<b>Zn</b>	0,704	0,363	0,576	0,624	0,735	0,265	1,000*

(\*) indicó que el coeficiente de correlación fue estadísticamente significativo.

*Fuente: Elaboración propia*

En estiaje, los metales de arsénico (As), zinc (Zn), níquel (Ni), cromo (Cr) presentaron correlaciones significativamente altas entre sí, en particular los pares de elementos de As-Zn ( $r = 0,876$ ), Ni-Cr ( $r = 0,869$ ), Zn-Cr ( $r = 0,775$ ). La alta correlación entre los elementos ( $P < 0.05$ ) indican comportamientos geoquímicos similares. Sin embargo, se observa que el cobre (Cu) no tuvo correlación con otros metales durante la época seca, al igual que plomo (Pb) con valores mínimos de correlación o cero significativos, lo cual podría indicar el ingreso de alguna fuente de contaminación externa e independiente del resto de metales pesados.

En avenida, los metales de arsénico (As), cobre (Cu), cadmio (Cd), cromo (Cr) y níquel (Ni) presentaron

correlaciones significativamente altas entre sí, en particular los pares de elementos de As-Cu ( $r = 0,810$ ), Cd-Cr ( $r = 0,815$ ), Cr-Ni ( $r = 0,926$ ). La fuerte correlación entre los elementos ( $P < 0.05$ ) señala similitudes en los comportamientos geoquímicos. Sin embargo, se observa que ni el plomo (Pb) ni el zinc (Zn) tuvieron relación con otros metales durante la época húmeda, con valores escasos o poco significativos de correlación, lo cual podría evidenciar el ingreso de alguna fuente de contaminación externa e independiente que contenga plomo (Pb) y zinc (Zn), respectivamente.

A diferencia de la estación de estiaje, donde el Cu no presentó ninguna correlación significativa, en la estación de avenida sí se observó una correlación significativa únicamente con el As ( $r = 0,810$ ). Por otro lado, durante la época de estiaje, el Zn se correlacionó significativamente con el Cr ( $r = 0,775$ ) y el As ( $r = 0,879$ ), en comparación con la época húmeda donde dicho metal no presentó ninguna correlación significativa con otros metales. Además, la correlación más alta se dio en la estación de avenida entre el Cr y el Ni, con un valor de  $0,926$  ( $P < 0.05$ ), sumamente cercano al 1, indicando una fuerte correlación entre positiva entre estos dos metales; en otras palabras, cuando el nivel de Cr en una muestra aumenta, es probable que el nivel de Ni también aumente, y viceversa; evidenciando también una alta relación en términos de su distribución y/o comportamiento en la muestra analizada.

De esta manera, el análisis de Pearson para estiaje mostró una correlación estadísticamente significativa entre Ni y Cr ( $0,869$ ), la cual podría deberse a las aleaciones conocidas entre estos metales que dan resultado a un material resistente a la oxidación (nicromo) como los hilos o alambres de resistencias utilizados en hornos industriales y electrodomésticos, los cuales provendrían de los centros poblados cercanos al río (Klein, C. & Costa, M., 2015); además se observó una alta correlación entre As-Zn ( $0,876$ ) y la de Cr-Zn ( $0,775$ ), atribuyendo esto al uso de pesticidas o fertilizantes que incluyen estos MP y estarían siendo liberados al río llegando a acumularse en los sedimentos; además de presentar un comportamiento geoquímico similar cuando son adsorbidos a partir de arcilla, óxidos de hierro o MO en los sedimentos (Marin, 2003).

En avenida, se registró una correlación significativa entre As-Cu ( $0,810$ ), la cual se atribuye a actividades mineras, donde estos dos metales suelen estar presentes juntos en algunos minerales como la arsenopirita, y por su capacidad de formar complejos estables en agua, facilitando su precipitación y acumulación en sedimentos (Reyes, Y. et al., 2016); la correlación Ni-Cr ( $0,926$ ) nuevamente se observó, lo que sugiere que la correlación entre algunos metales en el sedimento no se vio afectada por la estación. Mientras que otros metales en comparación con la época seca, como el Cu, Zn y Cr demostraron que los cambios estacionales sí podrían estar afectando el comportamiento geoquímico de los metales pesados en los sedimentos.

#### 4.4.3. Análisis de Conglomerados (Clúster) y análisis de componentes principales (PCA)

Asimismo, con el análisis clúster y el análisis de componentes principales (PCA), se reveló que las tres fuentes de contaminación principales en este estudio estarían contribuyendo al incremento de algunos metales pesados en sedimentos del río Majes-Camaná con erosión hídrica del suelo, lixiviados mineros, agrícolas (agroquímicos) y la posible escorrentía de desechos municipales, respectivamente. Así, para ambas épocas los metales con un alto coeficiente de relación con las fuentes de contaminación de minería (Cr, Cu, Ni) y agricultura (As, Zn) tuvieron una tendencia de disminución desde aguas arriba hasta aguas abajo del río Camaná. Mientras que otros metales como Cd y Pb presentaron tendencias únicas, estando presente únicamente en el PM-04. Y es esta relación de los metales y sus fuentes las que podrían explicar el 89% de la variación total de la concentración de los 7 metales examinados. Reduciendo la dimensionalidad de los datos de concentración de metales pesados en sedimentos encontrados en ambas épocas (Tabla 12, Tabla 13); para este análisis de componentes principales se dispuso de 2 características (estiaje y avenida), donde cada punto de muestreo es una observación (n) y cada metal pesado medido es una variable (Y); teniendo así 7 variables en 7 observaciones.

**Tabla 25. Componentes principales de los metales pesados medidos en la época de estiaje con matriz de correlación**

PCA	Autovalor	% varianza
1	3,047	43,533
2	1,826	26,092
3	1,367	19,533
4	0,641	9,154
5	0,062	0,890
6	0,056	0,799

*Fuente: Elaboración propia*

Se descompuso la matriz de correlación en sus componentes principales, que como se observa en la Tabla 25, nos brindó autovalores que explican cuánta variabilidad representa cada componente principal. Así, en la época de estiaje, los primeros tres autovalores (1, 2, 3) que son mucho mayores que 1 y explican una gran proporción de la varianza total, fueron determinados como los componentes principales óptimos. Y se reafirmó esta decisión observando el cambio drástico del tercer (1,367) al cuarto (0,641) autovalor, lo cual indica que la cantidad de información capturada por cada componente principal disminuye significativamente y ya no deberían ser retenidos.

Ya con los 3 componentes principales determinados para la época seca, en el gráfico de la Fig 12. se proyectaron los datos originales (concentración de metales pesados) sobre los componentes principales

seleccionados para interpretar qué variables (metales) estuvieron más fuertemente asociadas con cada componente (punto de muestreo).

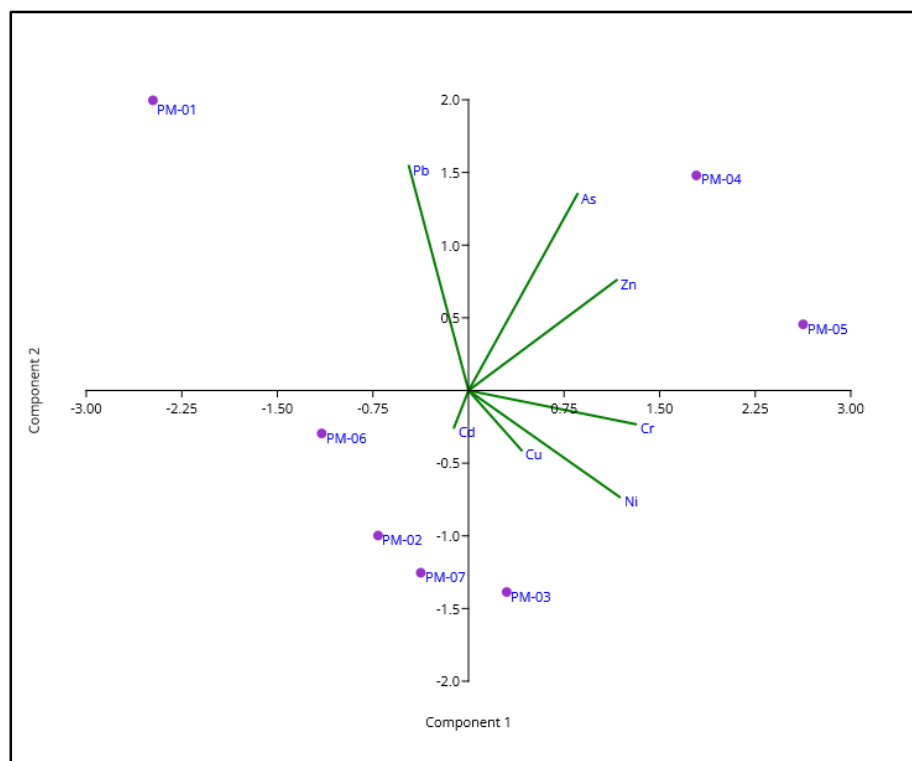


Figura 12. Diagrama de dispersión para análisis de componentes principales de la época de estiaje

*Fuente: Elaboración propia*

Así, se refleja que en el PM-01 ningún metal tuvo una incidencia significativa. Por otro lado, el Cd se encuentra en mayor frecuencia en el PM-07. El As y Zn presentaron una alta incidencia tanto en el PM-04 y PM-05 respectivamente. Y finalmente en el PM-03, el Cr, Cu y Ni mostraron una incidencia significativa.

**Tabla 26. Componentes principales de los metales pesados medidos en la época de avenida con matriz de correlación**

PCA	Autovalor	% varianza
1	3,337	47,677
2	3,044	43,49
3	0,372	5,307
4	0,200	2,861
5	0,041	0,581
6	0,006	0,085

*Fuente: Elaboración propia*

Según el gráfico en la Fig 13, tanto el PM-02 como el PM-04 no muestran incidencia con ningún metal. Por otro lado, el PM-07 presenta una mayor frecuencia en relación con los metales Cd, Cr y Ni. Además, el PM-06 muestra una mayor incidencia con los metales As y Cu. Tanto el PM-05 como el PM-03 muestran una mayor incidencia con el Pb, y finalmente, el PM-01 muestra una mayor abundancia en relación con el metal Zn.

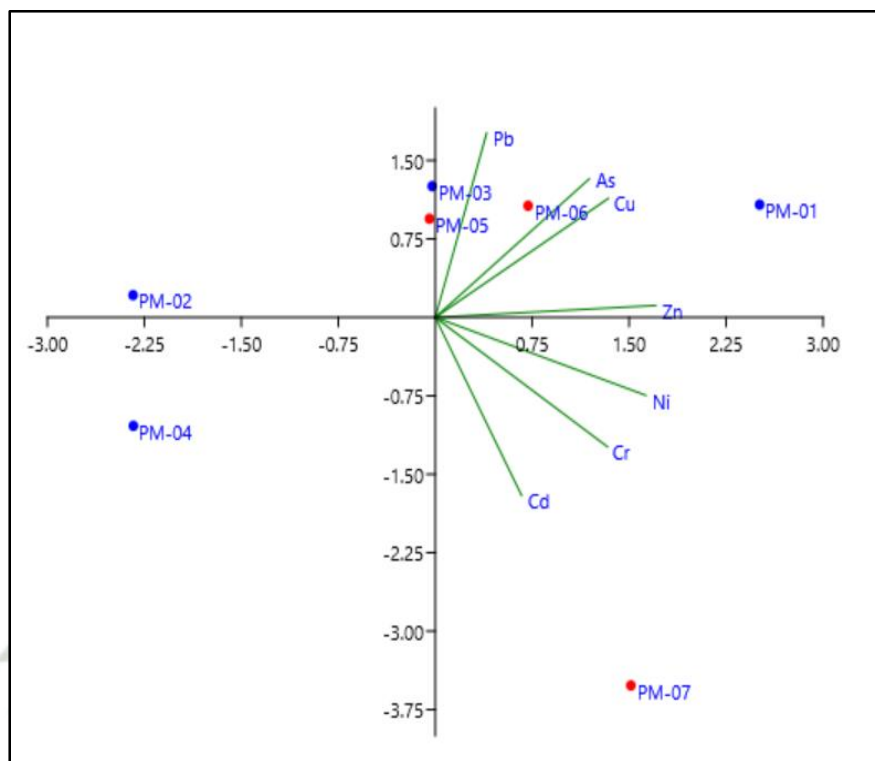


Figura 13. Diagrama de dispersión para análisis de componentes principales de la época de avenida

*Fuente: Elaboración propia*

El gráfico de la Fig 14. nos indica que en la época de estiaje el comportamiento de la concentración de Pb y Cd son muy similares, al igual que As presenta una tendencia similar a Ni; asimismo estos dos pares se correlacionan entre sí. Con una menor similitud en concentración, observamos el Cr y Cu. También se observó que el Zn no es similar directamente a otro metal pesado, sin embargo, se encuentra una considerable coincidencia con el último grupo mencionado de Cr- Cu.

**Tabla 27. Análisis de conglomerados k-medias de la época de estiaje**

<i>Nombre</i>	<i>Clúster</i>
PM-01	1
PM-02	1

PM-03	1
PM-04	2
PM-05	2
PM-06	1
PM-07	1

Fuente: Elaboración propia

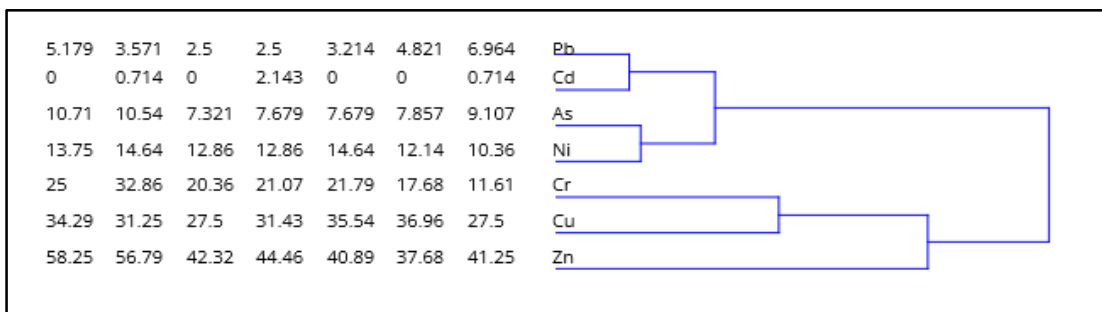


Figura 14. Agrupamiento jerárquico por correlación de los metales pesados en la época de estiaje

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de la Fig 15 de conglomerados por punto de muestreo, se observa una similitud en el comportamiento general de los metales pesados del PM-04 y el PM-05. Al igual que el PM-02 y PM-07 con un comportamiento metálico ligeramente más similar; ocurre lo mismo con el PM-03 y el PM-06, donde también mostraron comportamientos metálicos similares. Y el único punto de muestreo que no es similar en tendencia ni concentración a ningún otro metal medido, es el primero, el PM-01; no obstante, este punto encuentra una correlación algo más significativa entre el PM-02-PM-07 y el PM-03-PM-06.

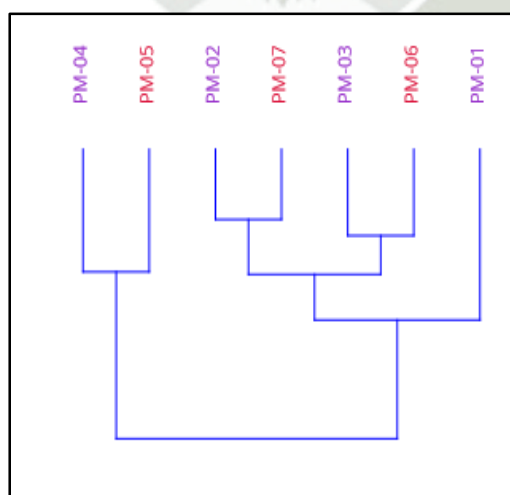


Figura 15. Agrupamiento jerárquico por correlación de los puntos de muestreo en la época de estiaje

Fuente: Elaboración propia

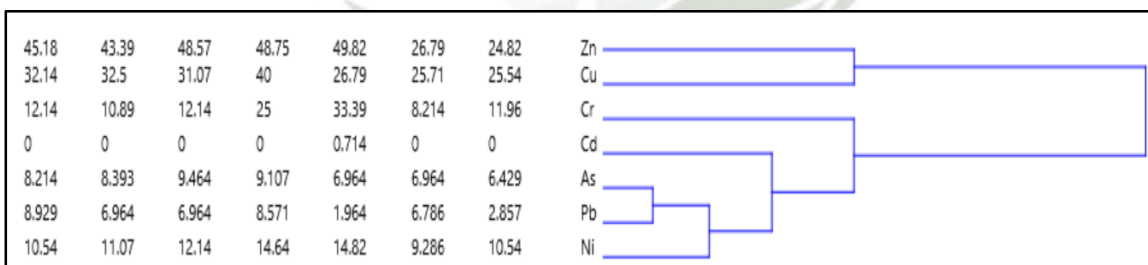
Según los resultados del agrupamiento jerárquico por correlación de los metales pesados en la época de estiaje, observamos que el comportamiento de la concentración de los metales Pb y Cd son similares, al igual que el comportamiento de la concentración de los metales As y el Ni; asimismo, ambos grupos se correlacionan nuevamente entre sí. Por otro lado, sucede lo mismo con el Cr y el Cu, cuyo comportamiento en la contracción es similar. El único metal no agrupado inicialmente es el Zn, quien posteriormente es agrupado al grupo del Cr y del Cu.

**Tabla 28. Análisis de conglomerados k-medias de la época de avenida**

<i>Nombre</i>	<i>Clúster</i>
PM-01	1
PM-02	1
PM-03	1
PM-04	2
PM-05	1
PM-06	1
PM-07	2

*Fuente: Elaboración propia*

El gráfico de la Fig 16 nos indica que en la época de avenida el comportamiento de la concentración de Zn y Cu son muy similares, al igual que As presenta una tendencia similar al Pb; asimismo estos dos pares se correlacionan entre sí. Con una menor similitud en concentración, observamos el Cr y Cu. También se observó que el Zn no es similar directamente a otro metal pesado, sin embargo, se encuentra una considerable coincidencia con el último grupo mencionado de Cr- Cu.



**Figura 16. Agrupamiento jerárquico de los metales pesados en la época de avenida**

*Fuente: Elaboración propia*

Según los resultados del agrupamiento jerárquico por correlación de los metales pesados en la época de avenida (Fig 17), se observa una similitud en el comportamiento de los metales entre el PM-02 y el PM-04. De manera similar, el PM-03 y el PM-05 también mostraron comportamientos metálicos

similares. El único punto de muestreo que no se agrupó inicialmente fue el PM-01 y PM-07.

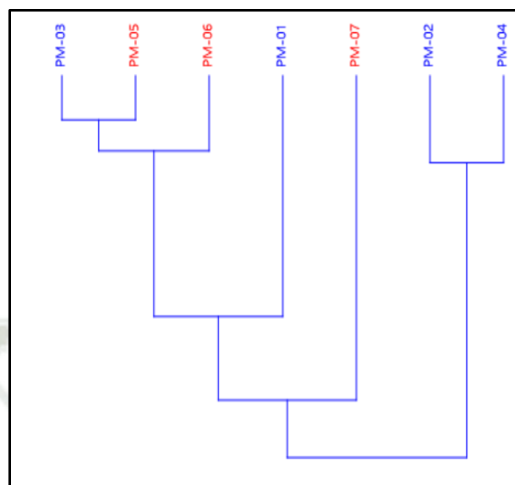


Figura 17. Agrupamiento jerárquico de los puntos de muestreo en la época de avenida

*Fuente: Elaboración propia*

Mientras que, en la época de estiaje, observamos que el comportamiento de la concentración de los metales Pb y Cd son similares, al igual que el comportamiento de la concentración de los metales As y el Ni; asimismo, ambos grupos se correlacionan nuevamente entre sí. Por otro lado, sucede lo mismo con el Cr y el Cu, cuyo comportamiento en la contracción es similar. El único metal no agrupado inicialmente es el Zn, quien posteriormente es agrupado al grupo del Cr y del Cu.

Esta investigación, adicionalmente consideró un mapa temático de la fracción de cobertura vegetal (FCV) (Fig 18) que aportó información de la distribución espacial y temporal de variables biofísicas que puedan estimar el crecimiento de la agricultura (Salvador, J. M. et al, 2021) y brinde información valiosa para mejorar su condición para futuros estudios. Esto se realizó mediante el uso de imágenes satelitales de libre acceso de Copernicus como las del satélite Sentinel-2 (S-2) del año 2014 hasta el presente (raster 300 m), el cual con método de clasificación de intervalo igual de 10 clases, identificó que para los puntos PM-01 y PM-02 existe cobertura baja y media (25-100), mientras que los puntos 03, 04 y 07 presentaron una cobertura muy alta (125-250) la cual podría estar actuando como barrera de protección con especies vegetales adsorbentes de metales pesados (Chen, Y. et al., 2013); caso contrario siendo el del PM-05 y 06, los cuales al encontrarse con una baja cobertura vegetal son más vulnerables a ser contaminados por el desplazamiento y precipitación directa de lixiviados mineros/agrícolas con alto contenido de MP hacia el río y consecuentemente hacía los sedimentos.

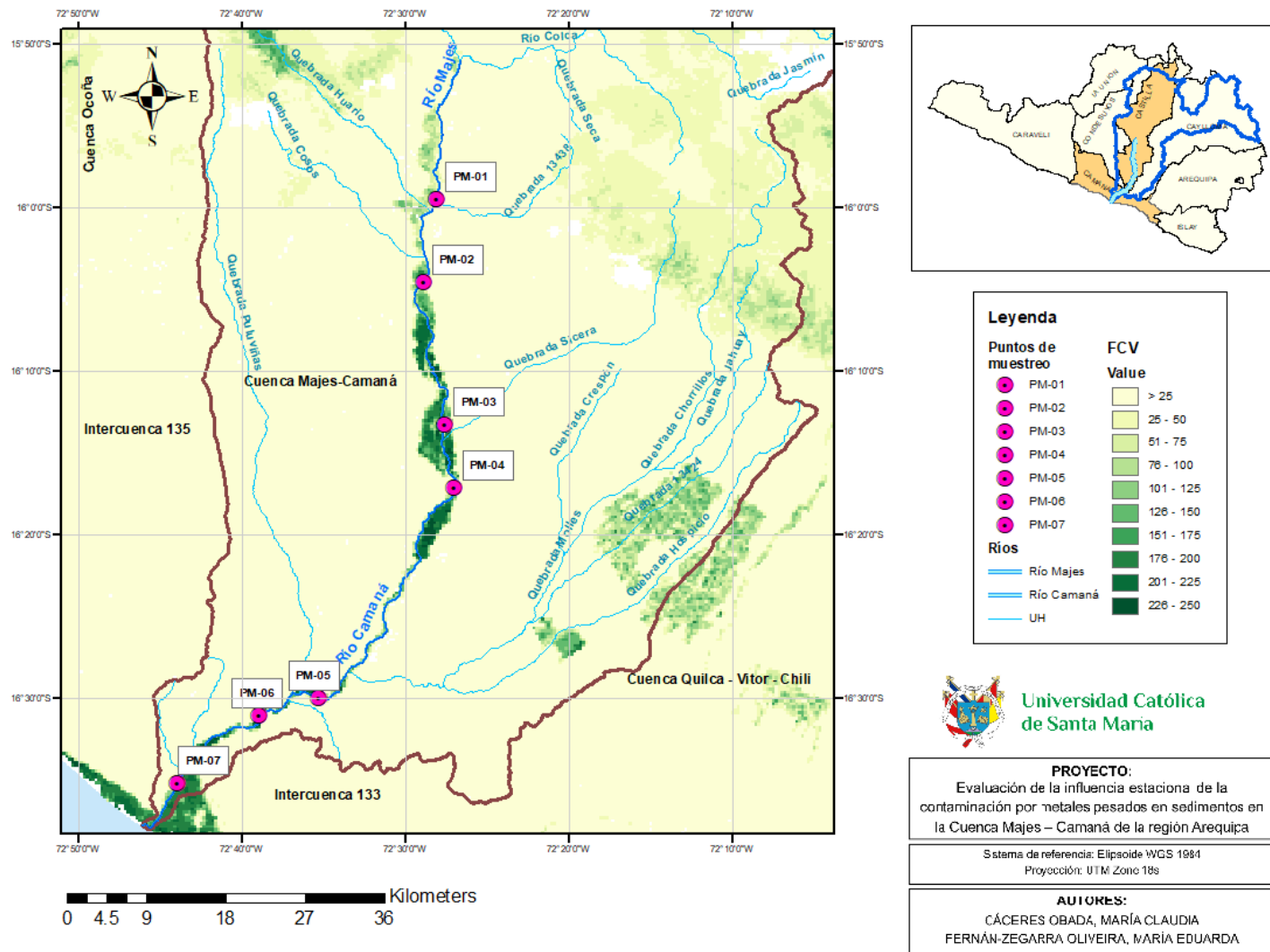


Figura 18. Mapa de fracción de cobertura vegetal (FCV) de la Cuenca Majes-Camaná (Río Majes y Camaná)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con ayuda de toda la información obtenida, es posible resaltar que uno de los métodos más eficaces para la mitigación del zinc adsorbidos en los sedimentos del área de estudio provenientes de la minería y la agricultura en el PM-04 es la fitorremediación, especialmente las plantas hiperacumuladoras como *Thlaspi caerulescens* y *Phragmites australis*, ampliamente estudiadas por su capacidad de absorber este metal y mejorar la calidad del agua (McGrath y Zhao, 2003). Este proceso utiliza estas plantas específicas que pueden absorber, acumular y detoxificar metales pesados de los sedimentos y el agua (Ali et al., 2013), siendo una técnica sostenible y ecológica que ha demostrado ser efectiva en diversos contextos. En la cuenca Majes-Camaná se podría promover la siembra de estas especies de plantas en áreas afectadas por la contaminación de zinc, y proceso puede ser apoyado por técnicas complementarias como la bioestimulación, que involucra la adición de nutrientes para mejorar el crecimiento y la eficiencia de las plantas (Glick, 2010).

Asimismo, la contaminación por cadmio en sedimentos superficiales del área de estudio es también una preocupación ambiental significativa principalmente causada por las actividades mineras y agrícolas donde este metal puede acumularse en los sedimentos y afectar los ecosistemas acuáticos (Wong et al., 2020). Un método efectivo para la mitigación del cadmio en los sedimentos es la remediación por biochar, un carbón vegetal producido por un proceso de pirólisis de biomasa pudiendo aprovechar los residuos agrícolas, que puede adsorber metales pesados y reducir su movilidad y biodisponibilidad en el medio ambiente (Beesley et al., 2011); siendo un método viable y efectivo.

## CONCLUSIONES

- PRIMERO.** Se estableció 07 puntos de muestreo de sedimentos superficiales en la cuenca de Majes-Camaná de la región Arequipa, observándose propiedades fisicoquímicas de los sedimentos ligeramente alcalinas y con altas conductividades hidráulicas en la estación de avenida, no variando significativamente para la estación de estiaje para el pH y valores bajos de conductividad en época de estiaje.
- SEGUNDO.** Los metales de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn no superaron las concentraciones en referencia a las normas canadienses para los valores PEL en las muestras de sedimentos monitoreadas en los 07 puntos de análisis de la cuenca hídrica Majes-Camaná. Sin embargo, para los valores de ISQG, el arsénico sobrepasó las concentraciones en todos los puntos, mientras que en el PM-01, PM-05 y PM-07 excedieron el valor ISQG del cadmio; y el PM 6 fue el único que excedió el valor ISQG del cobre. Además, se observa que el metal zinc fue el metal predominante en ambas estaciones probablemente debido a las actividades antropogénicas, así como condiciones favorables en cuanto a los parámetros fisicoquímicos. De igual manera, el metal cadmio tuvo una relación directa con actividades tales como la presencia de minería, agricultura y centros poblados aledaños, donde los parámetros fisicoquímicos no fueron relevantes en el aumento de su concentración en el PM-07 de ambas estaciones. Resultando en el siguiente comportamiento general para ambas épocas:  $Zn > Cu > Cr > Ni > As > Pb > Cd$
- TERCERO.** Los niveles de contaminación en los sedimentos superficiales del río Majes-Camaná, de acuerdo al PLI en función a la comparación de niveles de fondo de referencia, indican que en la época de estiaje existe contaminación moderada cuando se analiza los valores en base a los niveles de fondo de la Región Murcia (España), mientras que en la época de avenida indica que no existe contaminación por metales con un PLI de 1.012 y 0.778 respectivamente. Además, con el índice de geoacumulación (Igeo) se halló que la temporada de estiaje presenta una contaminación entre ligera y moderada por metales de cobre y cromo por fuentes antropogénicas, principalmente por agricultura, minería y la presencia de asentamientos humanos aledaños; en contraste, en la época de avenida se reportó una concentración baja de metales. Finalmente se concluyó que las fuentes antropogénicas alrededor del río tuvieron mayor influencia en la concentración y dinámica de los metales pesados que los sistemas pluviales o las épocas hidrológicas como tal en la cuenca Majes-Camaná.

## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda determinar y hacer de dominio público los niveles de fondo en elementos traza para los suelos de la Cuenca Majes-Camaná para que sirvan de referencia en futuras evaluaciones de contaminación de suelos y sedimentos. La determinación de estos valores estandarizados para cada elemento traza, brindaría resultados mucho más precisos para nuestra región, ya que cada elemento presenta características químicas propias que al mismo tiempo están ligadas a la variabilidad litológica existente en cada región (Fernández, V. & Cereceda, I., 2021). Además, se evitaría el uso de referencias normativas de legislación ambiental de otros países que puedan alterar la evaluación de sedimentos y reducir los problemas de variabilidad en la toxicidad de los MP.
- 2) Se recomienda a futuros estudios incluir más variables como el caudal y la temperatura en el análisis estacional de contaminación por metales pesados en sedimentos para proporcionar una visión más completa de los factores que influyen en la disponibilidad y movilidad de los metales (Hollis, J. M., & Peters, R. J., 1993). Estas variables, junto con otras como el OD, MO, la granulometría de los sedimentos y los niveles de nutrientes (Horowitz, A. J., 1991) podrían ser importantes para comprender mejor los procesos que determinan la distribución y el impacto ambiental de los metales pesados (Rast, W., & Thornton, J. A., 1996). Asimismo, se debe introducir el monitoreo de la descarga de contaminantes en estos ríos para futuras estrategias de remediación.
- 3) Se recomienda el uso de inteligencia artificial (IA) que contenga una base de datos históricos y actuales de variables ambientales, que al insertar distintas concentraciones de metales pesados que pueda lograr una simulación de escenarios y comparativa de resultados que proporcione mayor data sobre la influencia de cada variable, sirviendo como herramienta para la gestión ambiental y la toma de decisiones informadas (Wu, J., et al., 2020); (Amrutha, B., & Warriar, K. G. K., 2021).
- 4) Se recomienda a futuros estudios de biorremediación para la cuenca Majes-Camaná considerar a la cáscara de arroz como agente biorremediante, aprovechando que es un subproducto agrícola abundante en esta área y de bajo costo. Este posee una alta capacidad de adsorción debido a su composición rica en celulosa, hemicelulosa, y sílice, lo que la hace efectiva para la eliminación de metales pesados (Mohan, D., et al., 2007) como Pb, Cd, Cr y Hg; según Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2013) la superficie de la cáscara de arroz posee grupos funcionales (hidroxilos y carboxilos) que pueden interactuar con iones metálicos, mejorando su capacidad de adsorción, siendo una opción efectiva, biodegradable y de bajo impacto ambiental (Ravindran, R., & Jaiswal, A., 2016).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2013). The oil palm wastes in Malaysia. *Biomass Now: Sustainable Growth and Use*, 75-100.

Adriaano DC. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. 2nd Edition, Springer, New York. Pp. 867. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5>

Akindele, E. O., Omisakin, O. D., Oni, O. A., Aliu, O. O., Omoniyi, G. E., & Akinpelu, O. T. (2020). Heavy metal toxicity in the water column and benthic sediments of a degraded tropical stream. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 190, 110153. ISSN 0147-6513. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110153>

Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881.

Alloway BJ. (2013). Heavy Metals in Soils - Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra Ed.) United Kingdom. *Environ Pollut.* 22:11-50.

Amrutha, B., & Warriar, K. G. K. (2021). Machine learning techniques for the environmental monitoring of water resources. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(13), 15332-15345.

ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/7>

ANZECC & ARMCANZ. (2000). Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Toxicant default guideline values for sediment quality, Canberra.

Autoridad Nacional del Agua - ANA. (2020). RJ 151-2020-ANA. Aprobar el documento denominado “Glosario de Términos de la Ley N°29338”.

Autoridad Nacional Del Agua (ANA). (2012). Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú: Memoria descriptiva. Dirección De Conservación Y Planeamiento De Recursos Hídricos. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2015). Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca. Repositorio Digital de Recursos Hídricos. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/7>

Avilés, N. (2021). Guía de evaluación y plan de mejora de la red de estaciones hidrometeorológicas de las cuencas Chira y Piura. Universidad de Piura. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/5463>

Azcona-Cruz, M. I., Ramírez y Ayala, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1),72-77. ISSN: 1665-7330. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>

Baird, C. & Cann, M. (2013). *Química ambiental* [Segunda edición, quinta edición original]. (pp 726-730).

Belizario Quispe, G., Capacoila Coila, J., Huaquisto Ramos, E., Cornejo Olarte, D. A. & Chui Betancur, H. N. (2019). Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del Río Coata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(5), 223-228. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602019000500004&lng=es&tlng=](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000500004&lng=es&tlng=).

Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., & Gomez-Eyles, J. L. (2011). Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental Pollution*, 158(6), 2282-2287.

Bhuyan, M.S. & Bakar, M.A. (2017). Seasonal variation of heavy metals in water and sediments in the Halda River, Chittagong, Bangladesh. *Environ Sci Pollut Res* 24, 27587–27600. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0204-y>

BirdLife International (2023). Important Bird Area factsheet: Valle del Majes. Asociación Ecosistemas Andinos. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/14835>

Bordino, J. (2021). Cuencas hidrográficas: qué son, tipos e importancia. [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com). <https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html>

Boyd, C. E. (2015). *Water Quality: An Introduction*. Springer.

Bryan, G. W., & Langston, W. J. (1992). *Bioavailability, Accumulation and Effects of Heavy Metals in Sediments with Special Reference to United Kingdom Estuaries: A Review*. *Environmental Pollution*, 76(2), 89-131.

Callister, William D. (2010). *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th Edition, John

Wiley & Sons, pp. 234-237.

Camacho Vargas, M. D. (2018). Evaluación espacio-temporal de metales pesados del recurso hídrico superficial de la microcuenca del Río Tinco, Provincia Yauyos, Departamento Lima. Universidad Científica del Sur. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/556>

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2002). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Castro Gonzáles, N. et al. (2019). Nivel de contaminación de metales y arsénico en aguas residuales y suelos en la subcuenca del Alto Balsas en Tlaxcala y Puebla, México. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000200335&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992019000200335&script=sci_abstract&tlng=pt)

Chen, Y. et al., 2013. Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>

Combariza, B.D.A. 2009. Contaminación por Metales Pesados en el embalse del Muña y su relación con los niveles en sangre de Plomo, Mercurio y Cadmio y alteración de salud en los habitantes del municipio de Sibaté (Cundinamarca) pp.1- 115. Trabajo de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Córdoba Tovar, L. et al. (2013). Riesgo ecológico y para la salud humana de la exposición a sedimentos contaminados en un río tropical afectado por la minería del oro en Colombia. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2056/science/article/pii/S0013935123015633>

Correa Cuba, O., Fuentes Bernedo, F. E. & Coral Surco, R. G. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray - Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26-38. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>

Dammert, A. (2020). La Importancia del sector Minero para el Perú. *Journal of Economics, Finance and International Business*, 4(1), 1-4. Doi: <http://dx.doi.org/10.20511/jefib.2020>

Dávila Lima, Y. A., Montalvan Vasquez, R. L. & Incahuanaco Naveros, J. D. (2021). Contaminación por Metales Pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Y Pb) en Sedimentos Superficiales del Estuario Boca del Río, Ilo, Moquegua, Perú. *Revista de Divulgación Científica-Sincretismo*. Volúmen: 01, Número: 001.

<https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/47>

Davis, M. L., & Masten, S. J. (2013). Principles of Environmental Engineering and Science. McGraw-Hill Education).

Douvrís, C. et al. (2023). How ICP-OES changed the face of trace element analysis: Review of the global application landscape, Science of The Total Environment, Volume 905, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167242>.

Edwards, T. & Douglas, G. (1999). Field methods for collection of fluvial sediment. Tech. Water-Resources Investig., vol. LIVRE 3, p. 89. <https://pubs.usgs.gov/of/1986/0531/report.pdf>

Enamorado, G., Tirado Montoya, J. & Marrugo Negrete, J. (2022). Metales pesados (Hg, As, Cd, Zn, Pb, Cu, Mn) en un trayecto del río Cauca impactado por la minería de oro. Revista EIA, 19(37), 37005 pp. 1–15. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i37.1481>

European Food Safety Authority (EFSA). (2015). <http://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals>

Fernández, V. & Cereceda, I. (2021). Niveles de fondo de elementos traza en suelos de la subcuenca Linga - Arequipa, Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 19, Lima, 2018. Resúmenes ampliados. Lima: Sociedad Geológica del Perú, pp. 353-357.

Flores-Ruiz, E., Miranda-Novales, M. G. & Villasís-Keever, M. A. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. Revista alergia México, 64(3), 364-370. <https://doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>

Florián, T. (2017). Análisis físicos, químicos y microbiológicos de la calidad del agua superficial de la cuenca hidrográfica Amojú - Jaén 2016. (2017). [Tesis de pregrado, César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10887>

Förstner, U., & Wittmann, G. T. W. (1981). *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Springer.

Fransisca, Y. et al., 2015. Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry. Chemosphere, 138, pp.1008–1013. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.048>

Frías-Espericueta, M. G., Aguilar-Juárez, M., Osuna-López, I., Abad-Rosales, S., Izaguirre-Fierro, G. & Voltolina, D. (2011). Los metales y la camaronicultura en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 217-

228. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972011000300001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972011000300001&lng=es&tlng=es).

Gaioli, M, Amoedo, D., & González, D. (2012). Impact of mercury on human health and the environment. *Archivos argentinos de pediatría*, 110(3), 259-264. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0325-00752012000300017&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-00752012000300017&lng=es&tlng=en).

Garcia, B. (2019). Contaminación del agua por metales pesados As, B, Cu, Pb, Cd y CN- en las cuencas de los Ríos Tambo, Quilca, Camaná y Ocoña de la región Arequipa [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10764>

Grant, C. A., & Sheppard, S. C. (2008). Fertilizer Impacts on Cadmium Availability in Agricultural Soils and Crops. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 14(2), 210-228.

GEOCATMIN. (2023). Catastro Minero del Perú. @ [geocatmin.ingemmet.gob.pe](http://geocatmin.ingemmet.gob.pe). <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

GEO GPS PERÚ. (2021). mapa-de-cobertura-vegetal-actualizado @ [www.geogpsperu.com](http://www.geogpsperu.com). <https://www.geogpsperu.com/2016/06/mapa-de-coberturavegetal-actualizado.html>

INEI. (2017). GEOP GPS, INEI – Censo 2017 @ [www.geogpsperu.com](http://www.geogpsperu.com). <https://www.geogpsperu.com/2017/08/descarga-gratiscentros-poblados-censo.html>

Gonçalves, E. P., Soares, H. M., Boaventura, R. A., Machado, A. A., & Da Silva, J. C. E. (1994). Seasonal variations of heavy metals in sediments and aquatic mosses from the Cávado river basin (Portugal). *Science Of The Total Environment*, 142(3), 143-156. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90322-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90322-0)

Guerrero Padilla, A. M., Rodríguez Rodríguez, E. F., Leiva González, S. & Pollack Velásquez, L. E. (2019). Zonas de vida en el proceso de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de la provincia de Trujillo, región La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 761-792. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26217>

Gutiérrez, N. (2013). Delimitación de la cabecera de cuenca del río Piura. Tesis de Master en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú. <https://hdl.handle.net/11042/1857>

Glick, B. R. (2010). Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 28(3), 367-374.

Hefetz, A., & Liberman, G. (2017). The factor analysis procedure for exploration: a short guide with examples / El análisis factorial exploratorio: una guía breve con ejemplos. *Cultura y Educación*, 29(3), 526–562. doi:10.1080/11356405.2017.1365425

Hollis, J. M., & Peters, R. J. (1993). "Temperature effects on heavy metal mobility in river sediments." *Water Research*, 27(6), 979-985.

Horowitz, A. J. (1991). *A Primer on Sediment-Trace Element Chemistry*. Lewis Publishers.

Huang, Z. et al., (2014). Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1), pp.248–252. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>.

Islam, M.S., Ahmed, M.K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. & Islam, M.K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48: 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>.

Jiménez, R., Conde, B., Martín, J. y García, R. (2010). Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla – La Mancha. *Estudios Geológicos*, 66(1), ISSN: 0367- 0449, doi: 10.3989/egeol.40214.119

Justus Reymond, D.; Sudalaimuthu, K., (2023). Geospatial visualization and seasonal variation of heavy metals in river sediments. *Global J. Environ. Sci. Manage.*, 9(2): 309-322. DOI: 10.22034/gjesm.2023.02.10

Kabata-Pendias, A. (2004). Soil–plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*. 22(2):143-149.

Klein, C., Costa, M. (2015). Nickel, *Handbook on the Toxicology of Metals*. Elsevier, pp. 1091–1111. [Google Scholar]

Ledin, M. (2000). Accumulation of metals by microorganisms—processes and importance for soil systems. *Earth-Science Reviews*, 51(1-4), 1-31.

Li, N. et al., (2015). Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk

assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China. *Science of the Total Environment*, 521-522, pp.144–151. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>.

Litter, M. (2018). Arsénico en agua. En: E. M. Abraham; R. D. Quintana y G. Mataloni (eds.). *Aguas + Humedales*. (pp 224-211). 1a ed. San Martín: Universidad Nacional de San Martín (UNSAM Edita). <https://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/911>.

Martinez, S. (2009). Niveles de fondo y de referencia de metales pesados en suelos naturales de la región de Murcia. Universidad Politécnica de Cartagena. Grupo de investigación: Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas.

M. Forcella, P. Lau, M. Oldani, P. Melchiorretto, A. Bogni, L. Gribaldo, P. Fusi, C. Urani. (2020). Neuronal specific and non-specific responses to cadmium possibly involved in neurodegeneration: A toxicogenomics study in a human neuronal cell model. *NeuroToxicology*, Volume 76, Pages 162-173, ISSN 0161-813X. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2019.11.002>.

Marin G. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos, tratamiento y control de calidad de agua*. Madrid, España. Ed. Diaz de Santos S.A.

Mantero, J., Thomas, R., Holm, E., Rääf, C., Vioque, I., Ruiz-Canovas, C., García-Tenorio, R., Forssell-Aronsson, E. & Isaksson, M. (2020). Pit lakes from Southern Sweden: natural radioactivity and elementary characterization. *Sci Rep* 10, 13712. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70521-0>

McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2003). Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 14(3), 277-282.

Méndez Fajardo, S. et al., (2007). Estudio preliminar de los niveles de cadmio en arroz, fríjoles y lentejas distribuidos en supermercados de Bogotá y plazas de Manizales. *Fitotecnia Colombiana*, 7(2), pp.40–47.

MINAM. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva*. Ministerio del Ambiente del Perú, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.

Ministerio de Relaciones Exteriores - RREE. (2022). *Guía para la Inversión Minera en el Perú 2022/2023*. EY [Ernst & Young]. ISBN: 978-612-5043-10-8.

<https://www.gob.pe/institucion/rree/informes-publicaciones/2759602-peru-s-mining-metals-investment-guide-2022-2023>

Ministerio de Relaciones Exteriores - RREE. (2022b). Guía de Negocios e Inversión en Agricultura y Agribusiness en el Perú. Asociación de Gremios Productores Agrarios del Perú - EY [Ernst & Young]. ISBN: 978-612-5043-26-9. <https://www.gob.pe/institucion/rree/informes-publicaciones/3639663-guia-de-negocios-e-inversion-en-agricultura-y-agribusiness-en-el-peru-2022-2023>

MITECO. (2020). Cuencas y subcuencas hidrográficas. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/cuencas-y-subcuencas.aspx#:~:text=La%20directiva%20marco%20del%20agua,%C3%BA%20desembocadura%20del%20estu%C3%A1rio%20de%20la%20delta>.

Mitra, S., Chakraborty, A., Montakim, A., Bin, T., Nainu, F., Khusro, A., Idris, A., Khandaker, M., Osman, H., Alhumaydhi, F. & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, Volume 34, Issue 3, 101865, ISSN 1018-3647. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.

Mohan, D., et al. (2007). Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chitosan impregnated with micro- and nano-structured goethite. *Journal of Hazardous Materials*, 142(1-2), 211-220.

Monge, K. (2018). Determinación de la concentración de los metales pesados en los sedimentos en el Río Chili de la Provincia de Arequipa Región Arequipa [Tesis, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6906>

Mostafa Redwan, Engy Elhaddad. (2017). Heavy metals seasonal variability and distribution in Lake Qaroun sediments, El-Fayoum, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, Volume 134, Pages 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.06.005>.

Muller, G. (1969) Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geochem J* 2:108–118

Muñiz, P., et al. (2019). Metales pesados y As en sedimentos superficiales de la costa norte del estuario del Río de la Plata: Variaciones espaciales en el estado de contaminación y riesgo biológico adverso. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2056/science/article/pii/S2352485518303487>

Nava-Ruiz, C. & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio,

plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), pp.140–147.

Nicholson, F. A., et al. (2003). Assessing Metal Availability in Sludge-Amended Soils: Derivation and Use of a Mean Metal Availability Coefficient. *Environmental Pollution*, 126(3), 399-407.)

Nguyen, B. T., Do, D., Nguyen, T. X., Nguyen, V. G., Nguyen, D. T., Nguyen, M. H., Truong, H. T., Dong, H. P., Le, A. H. & Bach, Q. V. (2020). Seasonal, spatial variation, and pollution sources of heavy metals in the sediment of the Saigon River, Vietnam. *Environmental Pollution*, Volume 256, 113412, ISSN 0269-7491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113412>.

Nur Amirah, H. M., Suhaimi, S., Khairul Nizam, M. & Ong Meng, C. (2023). Seasonal variation in concentration of heavy metals in tropical river sediment. *Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol 27 No 1 (2023): 108 – 118*.

Rast, W., & Thornton, J. A. (1996). *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. John Wiley & Sons.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Gestión de cuencas hidrográficas. Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS). FAO. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/watershed-management/basic-knowledge/es/>

Pabón Guerrero, S., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R., & Gallo Corredor, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>

Pacyna, J. M., & Pacyna, E. G. (2001). An Assessment of Global and Regional Emissions of Trace Metals to the Atmosphere from Anthropogenic Sources Worldwide. *Environmental Reviews*, 9(4), 269-298.)

Pérez, I. y F. Martín. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 67 (1): 2015. 1-12

Pérez Mora, W. (2021). Evaluación del índice de geoacumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá. <https://www.redalyc.org/journal/3420/342068398005/342068398005.pdf>

Pernía, B. et al. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimentos y organismos bioindicadores en Estero Salado, Ecuador. <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/246ér>

Quispe Yana, R. F., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H. N., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A. P., & Yábar Miranda, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(2), 83-90. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&tlng=es).

Quispealaya Armas, L., Acharte, L. M., Enríquez, A., & Asto, J. M. (2021). Contaminación con Metales Pesados en Sedimentos y Truchas en los Ríos Opamayo y Sicra, Huancavelica-Perú. *Revista De investigación científica Siglo XXI*, 1(1), 68–78. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v1i1.12>

Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of agro-industrial wastes for the production of microbial enzymes and their potential applications. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 143-159.

Rebollo Salinas, D. B. (2022). Biomagnificación de metales pesados a través de cadenas tri-tróficas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Centro De Investigaciones Biológicas. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/3015>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz-Lagos, M., & González-Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Dialnet. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2, pp. 66-77, Sogamoso-Boyacá. Colombia ISSN Impreso 1900-771X, ISSN Online 2422-4324. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>

Reyes-Navarrete, M., Alvarado, A., Magdalena, D., García, A., González, L., & Vázquez, E. (2012). Metales pesados: importancia y análisis. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional. <https://n9.cl/1kgrn>

Rivera Carrasco, I. G. (2021). Evaluación de la concentración de los Metales Pesados (Arsénico, Plomo y Zinc) en las Aguas Superficiales de la Laguna Patón, (Oyón, Perú). [Tesis Universidad Científica del Sur]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/2072>

Rodríguez Heredia, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372-3385. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1029-30192017001200012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012).

Rodríguez, RA, et al. (2016) Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Rev Cubana Invest Bioméd.* 2016;35(3):251-271. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=70505>

Rodríguez-Lado, L., Sun, G., Berg, M., Zhang, Q., Xue, H., Zheng, Q., & Johnson, C. A. (2013). Groundwater arsenic contamination throughout China. *Science (New York, N.Y.)*, 341(6148), 866- 8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23970694>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.1237484>

Sadiq, M. (1992). *Toxic Metal Chemistry in Marine Environments*. CRC Press.

S. de Carvalho, V., et al. (2023). Determinación y evaluación del riesgo ecológico del mercurio en diferentes fracciones granulométricas de sedimentos de un río de abastecimiento público en Brasil. <https://ezproxy.ucsm.edu.pe:2056/science/article/pii/S0025326X23005155>

Salas-Ávila, D., Chaiña-Chura, F. F., Belizario-Quispe, G., Quispe-Mamani, E., Huanqui-Pérez, R., Velarde-Coaquira, E., Bernedo-Colca, F., Salas-Mercado, D., & Hermoza-Gutiérrez, M. (2021). Evaluación de metales pesados y comportamiento social asociados con la calidad del agua en el río Suches, Puno, Perú. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 12(6), 145-195. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-04>

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. DOI: 10.34098/2078-3949.37.4.1. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602020000400001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602020000400001&lng=es&tlng=es).

Salomons, W., & Förstner, U. (1984). *Metals in the Hydrocycle*. Springer

Salvador, J. M., Bolaños, M. A., Palacios, E., Palacios, L. A., López, A., & Muñoz, J. M. (2021). Estimación de la fracción de cobertura vegetal y contenido de nitrógeno del dosel en maíz mediante sensores remotos. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.899>

Sánchez, C.I. et al., (2010). Perfil sociodemográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de

Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. *Investig. Enferm*, 12(2), pp.93–116.

Sánchez, R. (2019). Niveles de Metales Pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el Río Osmore, región Moquegua [Tesis Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8804>

SDPA. (2016). *Arequipa: denuncian que derrame de relaves mineros contamina afluentes del río Colca*. SPDA Actualidad Ambiental. <https://www.actualidadambiental.pe/arequipa-denuncian-que-derrame-de-relaves-mineros-contaminan-afluentes-del-rio-colca/>

Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: Evaluación y Diagnóstico*. [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+de+agua&ots=cd2KMjZOer&sig=uGLGr3i1DP-cSSO2cgi4osLbhYc&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=2fAYEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=calidad+de+agua&ots=cd2KMjZOer&sig=uGLGr3i1DP-cSSO2cgi4osLbhYc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Singh, A. et al., (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>.

Sojka, M., Siepak, M., Jaskuła, J., & Wicher-Dysarz, J. (2018). Heavy metal transport in a riverreservoir system: A case study from central Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(4), 1725–1734. <https://doi.org/10.15244/pjoes/76916>

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*. John Wiley & Sons).

Suarez Vásquez, J. A., Ore Cierito, L. E., Loarte Aliaga, W. C., & Oré Cierito, J. D. (2021). Calidad de agua y nivel de satisfacción en la comunidad universitaria de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2019. *Llamkasun*, 2(1), 02–20. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i1.27>

Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Pratap, R. (2021). Impact of cadmium pollution on food safety and human health. *Current Opinion in Toxicology*, Volume 27, Pages 1-7, ISSN 2468-2020. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>.

Terneus-Jácome, E., & Yánez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja. Revista de Ciencias*

de la Vida, vol. 27, núm. 1, pp. 36-50, 2018. Universidad Politécnica Salesiana, <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>

Tiller KG. (1989). Heavy metals in soils and their environmental significance. *Adv Soil Sci.* 9:113-142. Universidad de Valencia (Multivari). (s.f.). Introducción al análisis cluster. <https://www.uv.es/ceaces/multivari/cluster/CLUSTER2.htm>

Tipler, Paul A., y Gene Mosca. (2007). *Physics for Scientists and Engineers*. 6th Edition, W.H. Freeman and Company, pp. 857-860.

Urgilez Montero, P. F. (2016). Control de calidad de agua y análisis de sedimentos en la microcuenca del Río Tabacay (Bachelor's thesis). Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25959>

Urgilez, P. et al. (2016). Control de de calidad de agua y análisis de sedimentos en la microcuenca del río Tabacay. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25959/1/tesis.pdf>

Vasquez, F. (2023). Variabilidad espacial del fósforo y su relación con las avenidas y estiajes de las cuencas hidrográficas del Nanay, Chillón-Rímac-Lurín y Azángaro [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9084>

Vega, C. (2021). Evaluación de calidad del agua y sedimento de la subcuenca del río Birrís, en cuanto a su contenido de metales pesados. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13238>

Wasiw, J. & Yépez, V. (2015). Evaluación Poblacional del Camarón *Cryphiops caementarius* en Ríos de la Costa Sur del Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 26(2), 166-181. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i2.11103>

WEBSCOLAR. (2013). Ecosistemas de aguas dulces y aguas saladas. <https://www.webscolar.com/ecosistemas-de-aguas-dulces-y-aguas-saladas>.

Wetzel, Robert G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd Edition, Academic Press, pp. 194-198.

Wong, J. C. L., Li, X. D., Zhang, G., Qi, S. H., & Min, Y. S. (2020). Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*, 119(1), 33-44.

Wu, J., et al. (2020). Predicting heavy metal contamination in water using machine learning

algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 36710-36720.

WWF. (2014). *Cuencas hidrográficas en el Arrecife Centroamericano*. Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://www.wwfca.org/cuencas/>



5. ANEXOS

ANEXO 1: PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PARA AVENIDA Y ESTIAJE

Tabla A 1. Parámetros fisicoquímicos en época de estiaje y avenida en la Cuenca Majes-Camaná por triplicado

<i>Periodo</i>	<i>ESTIAJE 2022</i>						<i>AVENIDA 2023</i>					
<b>Estación</b>	<b>pH</b>	<b>CE (us/cm)</b>	<b>SALINI DAD (%)</b>	<b>pH PROM</b>	<b>CE PROM</b>	<b>SAL PROM</b>	<b>pH</b>	<b>CE (us/cm)</b>	<b>SALINI DAD (%)</b>	<b>pH PROM</b>	<b>CE PROM</b>	<b>SAL PROM</b>
PM_01_1	7.57	259.5	1.1	7.782	259.6	0.5	8.311	557.3	0.5	8.25	627.13	1.20
PM_01_2	7.994	259.7	1.2				8.191	641.4	0.5			
PM_01_3	-	-	1.3				8.254	682.7	-			
PM_02_1	7.606	258.5	1.3	7.798	258.1	0.5	8.448	645.3	0.5	8.47	654.35	1.30
PM_02_2	7.99	257.7	1.3				8.488	663.4	0.5			
PM_02_3	-	-	-				-	-	-			
PM_03_1	7.994	210.8	1.4	7.964	272.633	0.467	8.412	721.3	0.4	8.57	715.90	1.40
PM_03_2	8.0082	250.3	1.4				8.616	730.7	0.5			
PM_03_3	7.891	356.8	1.4				8.689	695.7	0.5			
PM_04_1	8.143	154.2	1.5	7.969	205.367	0.400	8.475	769.4	0.3	8.50	775.67	1.50
PM_04_2	7.98	268.5	1.5				8.507	782	0.5			
PM_04_3	7.784	193.4	1.5				8.53	775.6	0.4			
PM_05_1	8.001	350.7	1.6	7.924	288.133	0.567	8.396	803.4	0.7	8.38	806.63	1.60
PM_05_2	7.95	249.4	1.6				8.37	807.3	0.5			
PM_05_3	7.821	264.3	1.6				8.374	809.2	0.5			
PM_06_1	7.382	290.1	1.5	7.356	318.467	0.600	8.316	774.5	0.6	8.28	787.40	1.53
PM_06_2	7.355	278.6	1.5				8.299	788.3	0.5			
PM_06_3	7.332	386.7	1.6				8.225	799.4	0.7			
PM_07_1	7.539	407.1	1.6	7.595	399.850	0.800	8.224	843.2	0.8	8.33	804.37	1.53
PM_07_2	7.65	392.6	1.5				8.404	781.6	0.8			
PM_07_3	-	-	1.5				8.352	788.3	-			

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 2: CONCESIONES MINERAS EN LA CUENCA MAJES-CAMANÁ**

**Tabla A 2. Número de concesiones en el catastro minero del río Majes-Camaná 2023**

<i>TITULAR</i>	<i>N°</i>	<i>SUST</i>	<i>TITULAR</i>	<i>N°</i>	<i>SUST</i>
ABDON VELASQUEZ VEGA	3	N	JUAN DANIEL SANTOS BENITES	3	M
ACA GRAMADAL PERU S.A.C. y Otros	1	M	JUAN RENATO CARAZAS ALEMAN	1	N
ACS MINERA KORICANCHAQ I E.I.R.L.	1	M	JULIO JOSE CATUNTA CONTRERAS	2	N
ADELCOR MAQUINARIAS S.A.C.	1	M	JULIO MALLQUI ESPINOZA	1	M
ADOLFO EDGAR MADARIAGA URVIOLA	2	M	JUNTA DE USUARIOS VALLE DE MAJES	1	N
ALEJANDRA CANDELARIA RAMIREZ LUQUE	1	N	JYG FIRST CAPITAL INVESTMENT E.I.R.L.	1	M
ALTO QUEMADO MINING COMPANY S.A.C.	5	M	KALLPACHAY E.I.R.L. CONTRATISTAS Y SERVICIOS GENERALES	1	N
ANA CECILIA RIVERA PULLCHS	1	M	KAREN LIZETH LAYME TORRES	1	N
ANA LUCIA SARDON TORREBLANCA	2	M	LA JOYA CONCESIONES S.A.C.	1	M
ANDREA LLERENA BARRETO y Otros	1	M	LADISLAO ARIZACA VILCA y Otros	1	M
ANDY CHRISTIAN FLORES SENCIA	3	N	LADRILLERA EL DIAMANTE S.A.C	1	N
ANGEL ANDRES LUNA FLORES	1	M	LAURA LUCIA APOLITO ROJO	1	N
ANGEL CESAR CCAHUA CCAHUA	2	M	LEANDRO LUPACA HUANACUNI	1	M
BLADIMIR GONZALES TORRES	1	M	LEGAL SPONSORSHIP E.I.R.L.	1	M
BRAULIO TEODOCIO CHIRE YANQUI	1	M	LEONCIO CECILIO ROMERO CARBAJAL y Otros	1	M
BRISSETT VANESSA CHALCO CHANG y Otros	1	M	LIZBETH SOLEDAD CARLOS ALCCACCAHUA	1	M
BUSINESS POWER E.I.R.L.	1	N	LORENZO ANTONIO AGUSTIN MARIANO DE LA PUENTE BRUNKE	8	M
CALCAREOS DEL PACIFICO S.A.C.	1	N	LUIS ARTURO LLERENA BEGAZO	1	M
CALIXTO GAUDENCIO LAZARO TITO y Otros	1	M	LUIS GUSTAVO ZÚÑIGA ALATRISTA	1	N
CELSO NAZARIO SUCA HUARICALLO	1	N	LUISA CM S.A.	2	M
CESAR JAVIER BEGAZO RANILLA	4	N	LUISALVARO DAVID CASTILLO TELLES	1	M
CESAR RAMOS CALANCHO	1	M	M & G CONSTRUCCIONES E INVERSIONES S.A.C.	3	N
CESAR ROGER ZUÑIGA QUISPE	1	N	MARIBEL YANINA HERENCIA VILCA	1	M
CHRISTIAN DIAZ BAUTISTA	4	M	MARICRUZ TANIA TACO QUISPE y Otros	1	M
CHRISTIAN STIVEN MONRROY FUNES	1	N	MARINA CACERES QUISPE	1	M
CLAUDIO MARIANO MARTIN SARAVIA CERPA	1	N	MARVIN SUKER HUAMAN MENA	2	M
CLAUDIO SERGIO VILCHES BRINGAS	3	M	MELCHOR AGUSTIN VERA PACHECO	4	M

COMANDO S.A.C.	1	N	MELISSA MILAGROS MEDRANO QUISPE	1	M
COMERCIAL MINERA GOLD A & C S.R.L.	1	M	MIGUEL SIERRA SIERRA VASQUEZ	1	M
COMPAÑIA MINERA CHACHANI S.A.C.	7	M	MINERA ACAVILLE S.A.C.	2	M
COMPAÑIA MINERA CIKAM PERU S.A.C.	1	M	MINERA AGVER S.A.C.	1	M
COMPAÑIA MINERA LANDAURO S.A.C.	6	M	MINERA ANDAMAYO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	1	M
COMPAÑIA MINERA ZAFRANAL S.A.C.	103	M	MINERA COLIBRI S.A.C.	1	M
CONCRETOS SUPERMIX S.A.	1	N	MINERA FOUR GROUP DEL VALLE S.A.	1	M
CONCRETOS Y AGREGADOS DEL SUR E.I.R.L.	9	N	MINERA LORENZO V S.R.L.	2	M
CONSTRUCTORA ADRALEAL S.A.C.	1	M	MINERA MIJSAN S.A.C.	1	M
CORPORACION PERUANA DE ALMACENES S.A.C.	2	M	MINERA PEÑÓLES DE PERU S.A.	2	M
D'REMATE TOTAL Y AGREGADOS E.I.R.L	1	N	MINERA PITAY S.A.C.	1	M
DIANA BEGAZO MEDINA	1	N	MINERA VETA DORADA S.A.C.	1	M
DIGNARIO HUACHACA PEREZ	1	M	MINEROS ARTESANALES CHM CASTILLO II SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	2	M
DIMAS ALBERTO PAUCARA MAMANI	1	N	MIRIAM JANET LUQUE MEDINA	2	N
DIONICIA NUÑEZ CHURA	1	M	MONICA NELLY DAVILA CARAZAS	1	N
DOMINGO EUSEBIO LEO FARROMEQUE	1	N	MOTA-ENGIL PERU S.A.	1	N
EDITH NAYELY DIAZ BAUTISTA	2	M	NELSON ALONSO LOZA CHACON	1	N
EDWIN CRUZ CALLAPIÑA	1	M	NERI HUAHUASONCCO QQUENTA	1	N
EDWIN LUTGARDO JULIO RODRIGUEZ LINARES	1	N	NINA AUSTRAL S.R.L.	3	N
EFRAIN MAMANI DELGADO	1	N	ORESTES OSWALDO CARDENAS CERVANTES y Otros	1	N
ELISEO JUVENAL SACSI HUAMANI	1	M	OSWALDO Y LOS MELLIZOS E.I.R.L.	4	M
ELIZABETH DONATA VEGA CRISTOBAL	1	N	PABLO PASCUAL NEYRA RODRIGUEZ	1	M
ELIZABETH QUISPE MAMANI	1	M	PASTOR AYALA VELASQUEZ	1	M
ELVYS AMADOR ACHARTE LUME	2	M	PATO CONTRATISTAS EIRL	3	M
EMPRESA DE TRANSPORTES SANTA LUISA DE MAJES S.A.C.	1	M	PEDRO DARIO YUCRA SUCASACA	1	M
EMPRESA MINERA DE EXPLORACION EXPLOTACION COMERCIALIZACION Y	4	M	PEDRO HUAYTA PUMA	1	N
EMPRESA MINERA LOS DIAMANTES DEL SUR E.I.R.L.	1	M	PEDRO PABLO COSI MORALES y Otros	1	N
ENRIQUE DAMIAN CORAHUA HERRERA	4	M	PERCY ROSAS OVALLE y Otros	1	M

EUSEBIO MARCOS HUAMANI LLACHO	1	M	PERFORACION Y VOLADURA ROCA S.A.C.	1	N
EVERT RICARDO HERENCIA VILCA	1	M	PLACIDO CANAZAS ARIAS	1	M
EXPLORACIONES ASHKA CCORI SAC	1	M	PROACTIVA E.I.R.L.	1	M
EXPLORACIONES CHULVE S.A.C.	1	M	RAFAEL CERVANTES SOTO	1	M
EXPLORACIONES GREAT PROJECT S.A.C.	1	M	RAFAEL FERNANDO CERVANTES LLERENA	1	M
EXPLORACIONES HORIZONTE GOLD S.A.C.	3	M	RAUL BERNARDINO ESTREMADOYRO ROSAS	1	N
EYMI TAIZ MEDINA ARANGO	1	N	RAUL EVILTON NEYRA QUISPE y Otros	1	M
FAUSTINA EUGENIA FRISANCHO TORRES	1	M	RECKI RUSSELL AYALA CONDORI	1	M
FELIPE CHUCTAYA CHUCTAYA	1	M	REYNA QUISPE PACHACUTEC	2	M
FLOR ANGEL HUACCHA RIVERA y Otros	1	M	RICARDO DIAZ MACUCHAPI	2	M
FLORENCIO NICOLAS CACERES SOTOMAYOR y Otros	1	M	ROBERT MARTINEZ BENITES	1	M
FRANCISCO ELIAS TAPIA MARTINEZ	1	N	RODOLFO BEJARANO ALVA	1	N
FRANCOIS ANDREY SOTA RAA	2	M	RODRIGO ALONSO LOZA CHACON	3	M
FREDY MARIO ARENAS CARNERO	1	M	RONALD MADARIAGA FIGUEROA	3	M
GABRIEL PONCE MANRIQUE	1	N	ROSA LUZ GUTIERREZ MACHICAO	1	N
GASTON HUANCA MAMANI	1	N	ROXANA MARILU ZEGARRA HACHA y Otros	1	M
GLADYS JULIA APAZA HUACASI	1	N	S.M.R.L. EL HUAYCO 96	1	N
GONZALO MANUEL ANGULO VELEZMORO	1	M	S.M.R.L. GOLD INGOT ONE	1	M
GRIMALDO CHACO FLORES	1	M	S.M.R.L. HUARIOS II	2	M
GUESIFREDO VICTOR CARDENAS MANCHEGO	1	N	S.M.R.L. MINA RINCONADA DE CHAPI	3	M
GUIDO ALEJANDRO VALDIVIA CORNEJO	1	N	S.M.R.L. PAN DE AZUCAR SANTOS	1	M
GUSTAVO ALEJANDRO HERRERA GONZALES	1	N	S.M.R.L. XIMENTITA DE CASMA	1	M
HAYDEE YSIDORA MENA MORAN	2	M	SAFRESUR S.R.L.	1	M
HECTOR FELIX F LINARES LINARES	1	N	SANDRA MASSIEL TRELLES APOLINARIO	1	M
HELBERT GASPAS SAMALVIDES DONGO	1	N	SANTOS FELIX RAMIREZ CARPIO	1	N
HENRY ELIAS SARDON PAREDES	3	M	SAULO ROGELIO MATIAS TORRES y Otros	1	N
HENRY VERA CHALCO	1	N	SERGIO PAUL DAVILA UYEN	1	N
HILARIO CHOQUEPUMA CHARA	3	M	SILVIO JUSTO BARRETO HUAYLLA y Otros	1	M
HUACONVA E.I.R.L.	1	M	SIMION FLORENTINO FLORES GOMOCIO	1	M
HUGO ARTURO PEÑALVA QUISPE	1	N	SIXTO YTALAUQUE SIXTO	1	M

HUMBERTO AQUILES VALVERDE HUAMANI	1	M	SOFIA SAVITSKAIA y Otros	1	M
INFINITA PROSPERIDAD MINERA SAC	2	M	TEODOCIA MARIA SUCASACA DIAZ	1	M
ISIDRO SANCA ABADO	1	M	TORO MUERTO MINING SOCIEDAD ANONIMA CERRADA	2	M
JAVIER YURI SOTA GUIMARAEZ y Otros	1	M	URBANO LEONARDO HUAMANI MANTILLA	2	N
JAWASA S.A.	2	M	VERONICA CARDENAS HUERTAS DE CARDENAS y Otros	1	N
JHOSEEPH JHORDIN GRABIEL PEREZ	1	M	XIMENA MINING GROUP SAC	1	M
JORGE AUGUSTO VILCA ROJAS	1	M	YURA S.A.	13	N
JORGE HERNAN LUNA FLORES	1	M	YURI ALEXANDER BEGAZO BEGAZO y Otros	1	M
JUAN CARLOS PINTO TORRES	1	N	<b>N° TOTAL DE TITULARES: 187</b>	<b>398</b>	<b>M: 64 N:29</b>

Fuente: INGEMMET [GEOGPS Perú-Cartas Nacionales], 2023

*Elaboración propia*

**Tabla A 3. Yacimientos mineros en la cuenca Majes-Camaná 2021**

<i>UNIDAD</i>	<i>TIPO</i>	<i>SUBTIPO</i>	<i>CALIDAD</i>	<i>LAT</i>	<i>LONG</i>	<i>PROVINCIA</i>	<i>DISTRITO</i>
Marbas	Ocurrencia	Vetas	Calidad-B	-15.891923	-72.122911	Castilla	Huancarqui
Santo Domingo 79	Mina	Vetas	Calidad-B	-16.060009	-72.199678	Castilla	Tipan
Lloquelloy	Ocurrencia	Vetas	Calidad-B	-16.048789	-72.198088	Castilla	Tipan
Los Ganchos	Ocurrencia	Vetas	Calidad-B	-16.035038	-72.217042	Castilla	Tipan
Cerro Quemado N°02	Ocurrencia	Vetas	Calidad-B	-16.04048	-72.143293	Castilla	Tipan
Mina Rey Felipe	Mina	Au (Pb-Zn-Cu) relacionado s con intrusivos	Calidad-B	-15.917726	-72.512469	Caraveli	Caraveli
Zafranal	Proyecto	Pórfidos Cu-Au	Calidad-C	-16.039997	-72.249996	Caraveli	Chala

Fuente: INGEMMET [GEOGPS Perú-Cartas Nacionales], 2021

*Elaboración propia*

**ANEXO 3: COBERTURA VEGETAL Y CENTROS POBLADOS EN LA CUENCA  
MAJES-CAMANÁ**

**Tabla A 4. Cobertura vegetal en la cuenca Majes-Camaná, en el río Majes y Camaná**

<i>N°</i>	<i>Cob. Vegetal</i>	<i>Hectáreas</i>	<i>km<sup>2</sup></i>	<i>%</i>
7	Agricultura costera y andina	29129.94	291.30	5
10	Area urbana	141.57	1.42	0
3	Cardonal	125660.00	1256.60	19
1	Desierto costero	316600.00	3166.00	49
1	Loma	507.10	5.07	0
1	Matorral arbustivo	170700.00	1707.00	26
1	Pajonal andino	3667.00	36.67	1

Fuente: GEOGPS Perú-Cartas Nacionales, 2023

*Elaboración propia*

**Tabla A 5. Centros poblados en la cuenca Majes-Camaná, río Majes y Camaná**

<i>N</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CATEGORIA</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>	<i>POBLACIÓN</i>	<i>PROVINCIA</i>	<i>DISTRITO</i>
1	LA SALADA	UNIDAD AGROPECUARIA	42	1	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER
2	HUACAPUY	ANEXO	40	2532	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER
3	EL BOMBON	OTROS	6	0	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER
4	LA CABAÑA	OTROS	26	4	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER
5	LA CHATARRERIA	-	37	4	CAMANA	JOSE MARIA QUIMPER
6	LAS BODEGUILLAS	OTROS	18	1	CAMANA	MARISCAL CACERES
7	SAN GREGORIO	PUEBLO	71	4532	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
8	EL MEDIO	ANEXO	90	1526	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
9	SAN JACINTO	ANEXO	55	927	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
10	PALO PARADO	UNIDAD AGROPECUARIA	254	5	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
11	HUAMBOY	ANEXO	222	3	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
12	PUCOR	UNIDAD AGROPECUARIA	211	9	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
13	PILLISTAY	ANEXO	202	2	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
14	SOCOSO GRANDE	UNIDAD AGROPECUARIA	199	47	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
15	SOCOSO CHICO	UNIDAD AGROPECUARIA	175	1	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
16	CACIAS	UNIDAD AGROPECUARIA	170	0	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
17	SILLAN	UNIDAD AGROPECUARIA	184	1	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
18	SONAY	ANEXO	154	17	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA

19	PISQUES	UNIDAD AGROPECUARIA	149	10	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
20	SOTO	UNIDAD AGROPECUARIA	120	0	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
21	JOSE OLAYA DE CHARACTA	CASERIO	120	5	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
22	CHARACTA	ANEXO	114	4	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
23	NASPAS	UNIDAD AGROPECUARIA	103	3	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
24	PAMPATA ALTA	UNIDAD AGROPECUARIA	76	2	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
25	PAMPATA BAJA	UNIDAD AGROPECUARIA	71	1	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
26	LA CANDELARIA	OTROS	45	7	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
27	SONAY LA BANDA	-	172	4	CAMANA	NICOLAS DE PIEROLA
28	APLAO	CIUDAD	624	2860	CASTILLA	APLAO
29	ANDAMAYO	ANEXO	963	84	CASTILLA	APLAO
30	LUCHEA	CASERIO	850	33	CASTILLA	APLAO
31	ONGORO PERU	CASERIO	854	21	CASTILLA	APLAO
32	BUENOS AIRES	CASERIO	851	48	CASTILLA	APLAO
33	ONGORO BAJO	CASERIO	825	34	CASTILLA	APLAO
34	HUATIAPILLA (HUATIAPILLA ALTA)	ANEXO	896	253	CASTILLA	APLAO
35	LA NUEVA CENTRAL	CASERIO	876	769	CASTILLA	APLAO
36	LA CENTRAL	ANEXO	866	54	CASTILLA	APLAO
37	EL CASTILLO	ANEXO	878	433	CASTILLA	APLAO
38	QUISCAY	OTROS	718	21	CASTILLA	APLAO
39	ACOY	ANEXO	690	125	CASTILLA	APLAO
40	LA PAMPA	ANEXO	683	21	CASTILLA	APLAO
41	LA BARRANCA	CASERIO	689	16	CASTILLA	APLAO
42	BERINGA	OTROS	658	1	CASTILLA	APLAO
43	LLOCLA GRANDE	UNIDAD AGROPECUARIA	667	0	CASTILLA	APLAO
44	COSOS	CASERIO	668	661	CASTILLA	APLAO
45	BILBAO	UNIDAD AGROPECUARIA	647	25	CASTILLA	APLAO
46	CASPANI	UNIDAD AGROPECUARIA	609	279	CASTILLA	APLAO
47	COCHATE	ANEXO	583	580	CASTILLA	APLAO
48	EL MONTE	ANEXO	558	64	CASTILLA	APLAO
49	LA REAL	CASERIO	588	846	CASTILLA	APLAO
50	SACAY	UNIDAD AGROPECUARIA	559	6	CASTILLA	APLAO
51	LOS PUROS	UNIDAD AGROPECUARIA	542	23	CASTILLA	APLAO

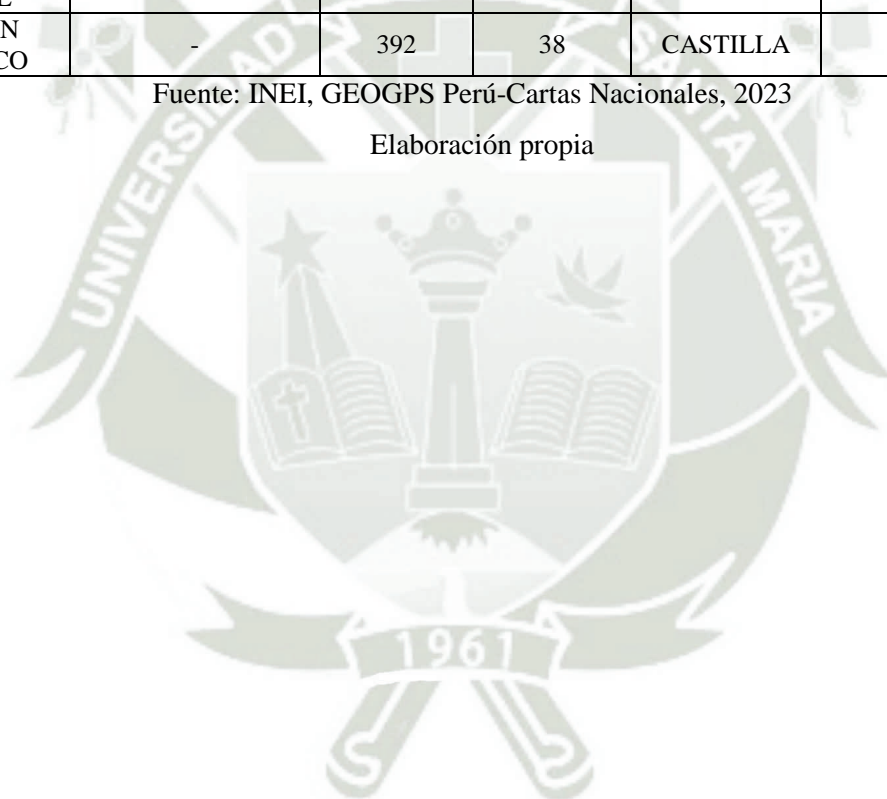
52	CUCULI	UNIDAD AGROPECUARIA	554	8	CASTILLA	APLAO
53	MARANCITO	OTROS	529	11	CASTILLA	APLAO
54	MARAN GRANDE	CASERIO	546	227	CASTILLA	APLAO
55	MAMAS	ANEXO	573	347	CASTILLA	APLAO
56	QUERULPA CHICO	CASERIO	534	205	CASTILLA	APLAO
57	QUERULPA GRANDE	ANEXO	512	19	CASTILLA	APLAO
58	RESCATE	OTROS	501	22	CASTILLA	APLAO
59	ONGORO	ANEXO	855	36	CASTILLA	APLAO
60	HUATIAPILLA BAJO	OTROS	795	101	CASTILLA	APLAO
61	HUAYRA PUNCO	OTROS	823	0	CASTILLA	APLAO
62	ALTO LA BARRANCA	CASERIO	688	179	CASTILLA	APLAO
63	APLAO	OTROS	624	13	CASTILLA	APLAO
64	HUANCARQUI	PUEBLO	620	1256	CASTILLA	HUANCARQUI
65	HUATIAPA	ANEXO	754	16	CASTILLA	HUANCARQUI
66	CCOLLA	OTROS	655	0	CASTILLA	HUANCARQUI
67	CUCULINTAY	UNIDAD AGROPECUARIA	595	6	CASTILLA	HUANCARQUI
68	LAS ISLAS SANTA ROSA	UNIDAD AGROPECUARIA	607	17	CASTILLA	HUANCARQUI
69	EL RECODO	UNIDAD AGROPECUARIA	618	11	CASTILLA	HUANCARQUI
70	CHACONES	UNIDAD AGROPECUARIA	590	6	CASTILLA	HUANCARQUI
71	EL CONTO	UNIDAD AGROPECUARIA	588	0	CASTILLA	HUANCARQUI
72	CALLEJONES	UNIDAD AGROPECUARIA	595	0	CASTILLA	HUANCARQUI
73	SACRAMENTO	UNIDAD AGROPECUARIA	577	1	CASTILLA	HUANCARQUI
74	LAS TIENDAS	OTROS	591	4	CASTILLA	HUANCARQUI
75	LOS PINOS	UNIDAD AGROPECUARIA	591	2	CASTILLA	HUANCARQUI
76	LAS TIERRAS	UNIDAD AGROPECUARIA	591	1	CASTILLA	HUANCARQUI
77	LOPEZ	UNIDAD AGROPECUARIA	579	0	CASTILLA	HUANCARQUI
78	EL MAJUELO	UNIDAD AGROPECUARIA	588	5	CASTILLA	HUANCARQUI
79	LA LAJA	CASERIO	594	36	CASTILLA	HUANCARQUI
80	PAMPA BLANCA	ANEXO	536	3	CASTILLA	HUANCARQUI
81	TOMACA	ANEXO	520	12	CASTILLA	HUANCARQUI
82	COLLON	UNIDAD AGROPECUARIA	503	5	CASTILLA	HUANCARQUI

83	SAN ANTONIO	OTROS	598	5	CASTILLA	HUANCARQUI
84	SAN ISIDRO	OTROS	690	0	CASTILLA	HUANCARQUI
85	SANTO DOMINGO	OTROS	523	11	CASTILLA	HUANCARQUI
86	EL RESCATE	OTROS	521	2	CASTILLA	HUANCARQUI
87	CORIRE	PUEBLO	452	2312	CASTILLA	URACA
88	EL DIQUE	ANEXO	485	161	CASTILLA	URACA
89	SAN AGUSTIN	OTROS	474	7	CASTILLA	URACA
90	CASA GRANDE	OTROS	466	22	CASTILLA	URACA
91	SANTA ELENA	OTROS	474	13	CASTILLA	URACA
92	URACA	CASERIO	500	201	CASTILLA	URACA
93	PUEBLO VIEJO	OTROS	475	36	CASTILLA	URACA
94	EL CRUCERO	OTROS	452	59	CASTILLA	URACA
95	DESAGUADERO	CASERIO	447	26	CASTILLA	URACA
96	LA BARRERA	CASERIO	447	54	CASTILLA	URACA
97	LA PASTOR	OTROS	446	46	CASTILLA	URACA
98	CENICERO	OTROS	432	5	CASTILLA	URACA
99	LLUTIS	OTROS	458	12	CASTILLA	URACA
100	VILLA HERMOSA (ALTO PEDREGAL)	CASERIO	454	262	CASTILLA	URACA
101	CANTAS	ANEXO	437	124	CASTILLA	URACA
102	BELLAVISTA	CASERIO	432	152	CASTILLA	URACA
103	LA CANDELARIA	ANEXO	476	410	CASTILLA	URACA
104	HUARANGO	OTROS	432	3	CASTILLA	URACA
105	TORO GRANDE	CASERIO	420	47	CASTILLA	URACA
106	TORETE	ANEXO	428	118	CASTILLA	URACA
107	FATIMA	OTROS	427	15	CASTILLA	URACA
108	SAN VICENTE	CASERIO	424	75	CASTILLA	URACA
109	GOYENECHÉ	CASERIO	411	232	CASTILLA	URACA
110	PITIS	CASERIO	413	49	CASTILLA	URACA
111	LA MEZANA	ANEXO	425	146	CASTILLA	URACA
112	SAN FRANCISCO	CASERIO	389	110	CASTILLA	URACA
113	EL MIRADOR	PUEBLO JOVEN	460	235	CASTILLA	URACA
114	PUNTA COLORADA	ANEXO	386	343	CASTILLA	URACA
115	ESCALERILLAS	ANEXO	386	232	CASTILLA	URACA
116	EL INFIERNILLO	OTROS	362	12	CASTILLA	URACA
117	SARCAS	CASERIO	341	154	CASTILLA	URACA
118	EL GRANADO	CASERIO	335	24	CASTILLA	URACA
119	LAS MALVINAS	OTROS	316	23	CASTILLA	URACA

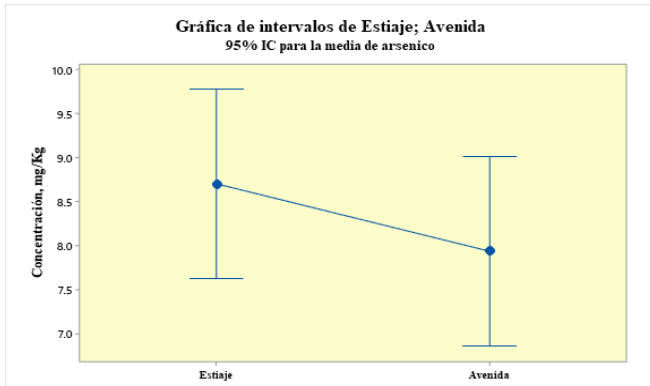
120	PAMPA BLANCA	CASERIO	326	93	CASTILLA	URACA
121	SATELITE SALVADOR	CASERIO	324	98	CASTILLA	URACA
122	TORAN	ANEXO	310	102	CASTILLA	URACA
123	SAN MARTIN	CASERIO	311	59	CASTILLA	URACA
124	CALLAN	OTROS	295	0	CASTILLA	URACA
125	CHARAGUAYO	OTROS	270	41	CASTILLA	URACA
126	SAHUANI	ANEXO	284	97	CASTILLA	URACA
127	PAYCAN	OTROS	264	2	CASTILLA	URACA
128	YAURIYACO	OTROS	360	16	CASTILLA	URACA
129	ORCOS	OTROS	253	0	CASTILLA	URACA
130	LA DELGADO CHILQUE	-	435	0	CASTILLA	URACA
131	ALTO SAN FRANCISCO	-	392	38	CASTILLA	URACA

Fuente: INEI, GEOGPS Perú-Cartas Nacionales, 2023

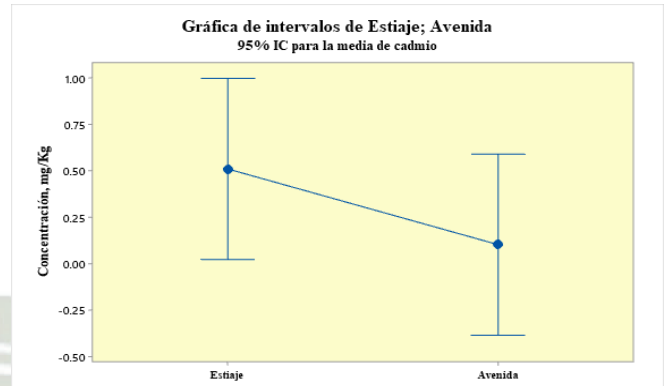
Elaboración propia



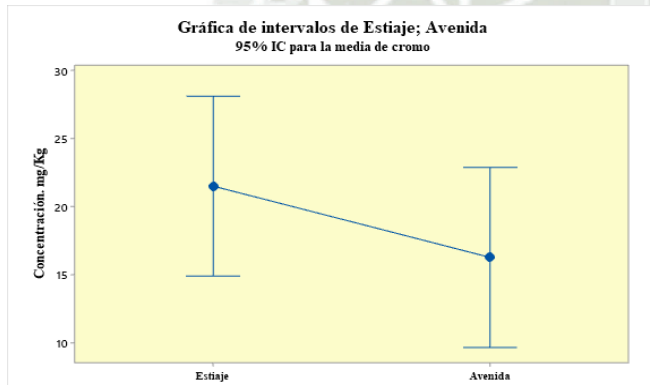
**ANEXO 4: GRAFICOS DE INTERVALOS ENTRE LAS TEMPORADAS DE ESTIAJE Y AVENIDA PARA LAS MEDIAS DE CADA UNO DE LOS METALES DE ESTUDIO EVALUADOS AL 95% IC EN EL SOFTWARE MINITAB**



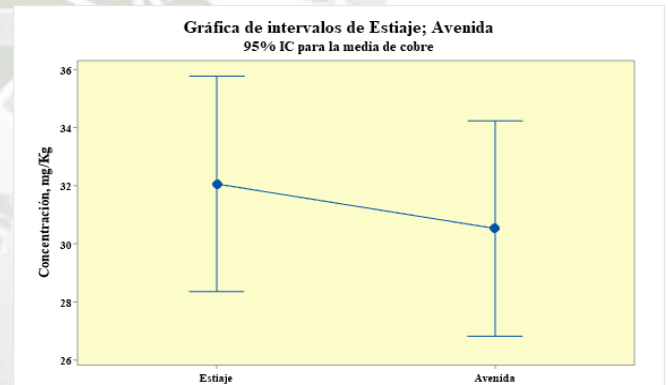
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



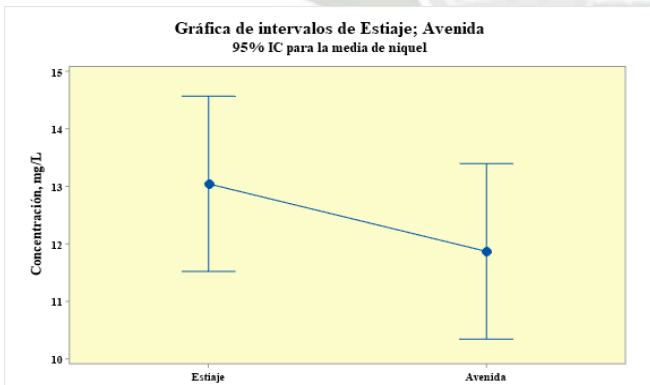
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



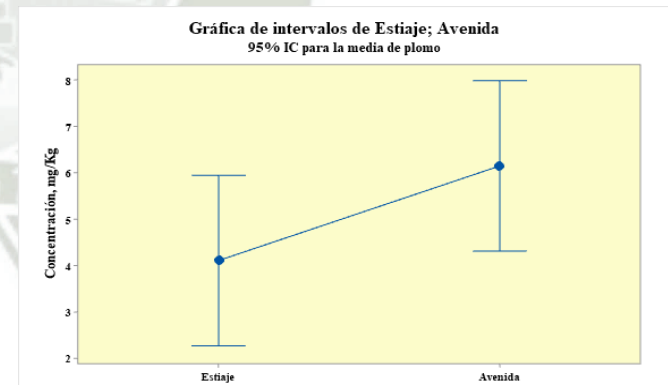
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



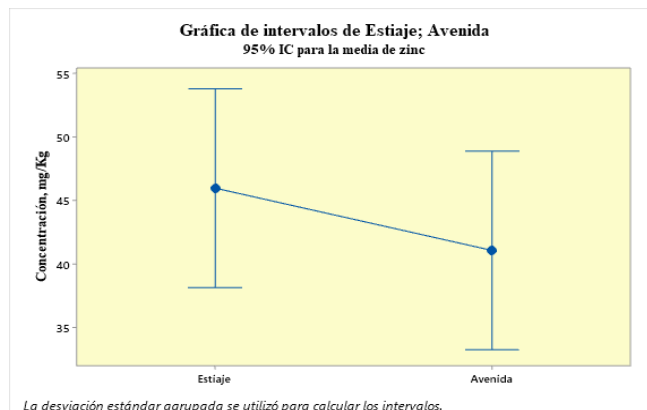
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.







La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

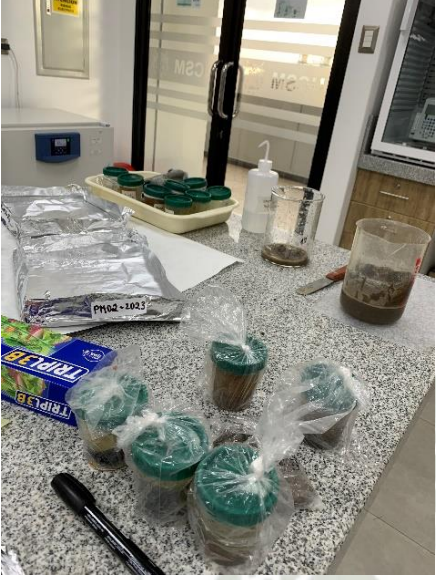

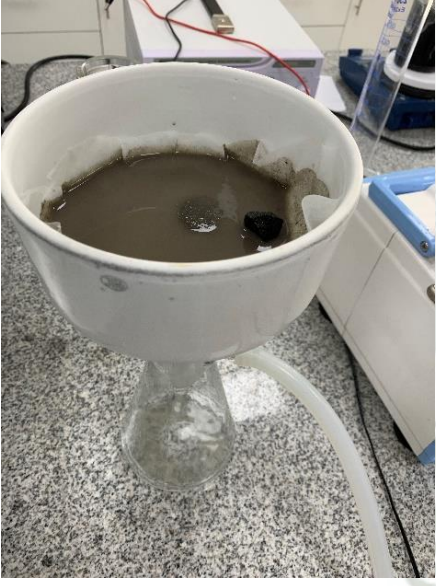



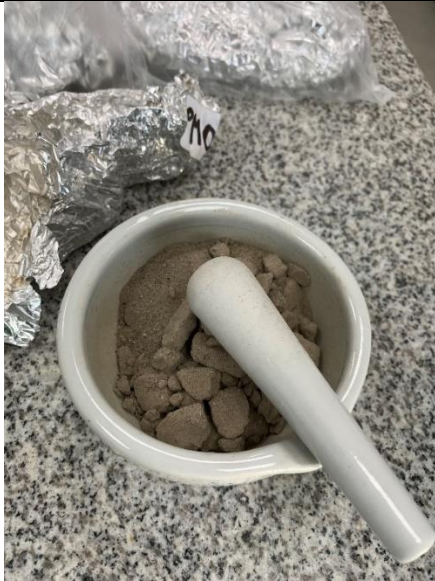
La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.

## ANEXO 5: FOTOS TOMADAS EN LABORATORIO

Tabla A 6. Fotos de la secuencia del pretratamiento realizado en el laboratorio de la UCSM

1. Reconocimiento de muestras estiaje	2. Muestras en recipientes de aluminio
	
3. Secado de las muestras en el horno	4. Tesistas en el laboratorio
	

<p>5. Reconocimiento de muestras avenida</p>	<p>6. Muestras altamente húmedas</p>
 <p>A laboratory bench with various equipment and samples. There are several clear plastic containers with green lids, some wrapped in plastic. A box of 'Fritos' is visible. A large glass beaker contains a dark, muddy liquid. A white bottle and other lab supplies are also present.</p>	 <p>A scientist in a white lab coat and blue gloves is working at a laboratory bench. She is using a blue and white machine, possibly a vacuum oven or a specialized drying apparatus, to process samples. The background shows laboratory signage for 'UCSM' and 'CIEMA'.</p>
<p>7. Filtrado de muestras</p>	<p>8. Secado de muestras</p>
 <p>A white funnel is placed on a glass flask. The funnel contains a filter paper with a dark, muddy sediment. The setup is on a laboratory bench.</p>	 <p>An open oven or drying chamber is shown. Inside, there are several bags of samples, each labeled with 'PM10-2023'. The oven is white and has a glass door.</p>
<p>9. Molido superficial de muestras</p>	<p>10. Tamizado de sedimento</p>



11. Sedimento tamizado a 2mm y 63 $\mu$ m



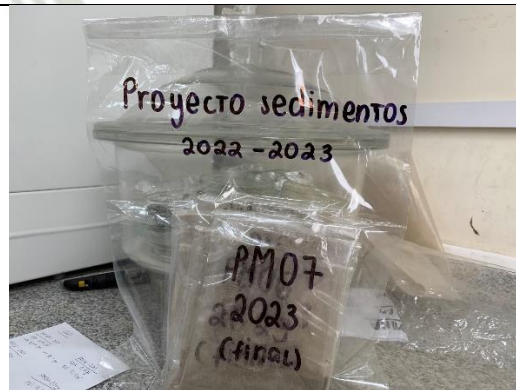
12. Selección de muestra representativa



13. Sedimentos organizados y rotulados



14. Muestras listas para la ICP-OES



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 6. GUÍA DE AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA PARA LA CALIDAD DE  
SEDIMENTOS**

**Tabla A 7. Valores guía predeterminados de tóxicos recomendados para la calidad del sedimento**

<i>Type of toxicant</i>	<i>Toxicant</i>	<i>DGV</i>	<i>GV-high</i>
Metals (mg/kg dry weight) <sup>a</sup>	Antimony	2.0	25
	Cadmium	1.5	10
	Chromium	80	370
	Copper	65	270
	Lead	50	220
	Mercury (Inorganic)	0.15	1.0
	Nickel	21	52
	Silver	1.0	4.0
	Zinc	200	410
Metalloids (mg/kg dry weight) <sup>a</sup>	Arsenic	20	70

*Fuente: ANZECC & ARMCANZ, 2000*



## ANEXO 7. INFORMES DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE LA UCSM – ICP-OES



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERÚ



### INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081A

#### INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM01-2022

#### INFORMACIÓN DEL ENSAYO

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

#### I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

##### DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,179
Al	mg/kg	19267,857
As	mg/kg	9,107
B	mg/kg	56,786
Ba	mg/kg	63,750
Be	mg/kg	0,893
Ca	mg/kg	1003,929
Cd	mg/kg	0,714
Co	mg/kg	10,536
Cr	mg/kg	11,607
Cu	mg/kg	27,500
Fe	mg/kg	18267,857
K	mg/kg	22625,000
Li	mg/kg	19,643
Mg	mg/kg	1775,000
Mn	mg/kg	379,107
Mo	mg/kg	0,893
Na	mg/kg	12942,857
Ni	mg/kg	10,357
P	mg/kg	310,357
Pb	mg/kg	6,964
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	1,071
Si	mg/kg	12525,893
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : María Claudia Cáceres Obada  
Dirección del cliente : Sachaca Campo Verde  
RUC : No corresponde  
Identificación del contacto : María Claudia Cáceres Obada  
Descripción de la muestra : Sedimento PM01-2022

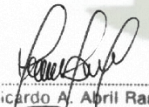
INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente  
Tamaño de muestra : 5 g  
Fecha de recepción : 09/11/2023  
Fecha de ejecución de ensayo : 09/11/2023 al 16/11/2023  
Fecha de emisión de informe : 21/11/2023  
Página : 2 de 2

Sr	mg/kg	118,750
Ti	mg/kg	2941,071
TI	mg/kg	2,321
V	mg/kg	75,714
Zn	mg/kg	41,250
Ag	mg/kg	0,179

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
C. F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFDA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081B**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM02-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,357
Al	mg/kg	9366,071
As	mg/kg	7,321
B	mg/kg	40,179
Ba	mg/kg	51,964
Be	mg/kg	0,536
Ca	mg/kg	2962,500
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	11,429
Cr	mg/kg	20,357
Cu	mg/kg	27,500
Fe	mg/kg	17614,286
K	mg/kg	17164,286
Li	mg/kg	12,857
Mg	mg/kg	581,786
Mn	mg/kg	333,036
Mo	mg/kg	0,536
Na	mg/kg	11408,929
Ni	mg/kg	12,857
P	mg/kg	370,000
Pb	mg/kg	2,500
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,714
Si	mg/kg	12759,643
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081B**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM02-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	134,107
Ti	mg/kg	3451,786
Tl	mg/kg	2,143
V	mg/kg	101,429
Zn	mg/kg	42,321
Ag	mg/kg	0,357

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081C**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM03-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

	<b>ANÁLISIS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>
Ag		mg/kg	0,714
Al		mg/kg	22071,429
As		mg/kg	7,679
B		mg/kg	60,357
Ba		mg/kg	37,857
Be		mg/kg	0,536
Ca		mg/kg	5262,500
Cd		mg/kg	0,000
Co		mg/kg	13,571
Cr		mg/kg	21,786
Cu		mg/kg	35,536
Fe		mg/kg	16157,143
K		mg/kg	20160,714
Li		mg/kg	16,607
Mg		mg/kg	621,250
Mn		mg/kg	461,786
Mo		mg/kg	0,357
Na		mg/kg	12355,357
Ni		mg/kg	14,643
P		mg/kg	397,500
Pb		mg/kg	3,214
Sb		mg/kg	0,000
Se		mg/kg	0,357
Si		mg/kg	12659,821
Sn		mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081C**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM03-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	75,357
Ti	mg/kg	3060,714
TI	mg/kg	2,500
V	mg/kg	118,571
Zn	mg/kg	40,893
Ag	mg/kg	0,714

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
C.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFCA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081D**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM04-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,357
Al	mg/kg	15196,429
As	mg/kg	10,714
B	mg/kg	45,714
Ba	mg/kg	35,357
Be	mg/kg	0,536
Ca	mg/kg	4660,714
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	13,571
Cr	mg/kg	25,000
Cu	mg/kg	34,286
Fe	mg/kg	16371,429
K	mg/kg	16169,643
Li	mg/kg	16,964
Mg	mg/kg	193,571
Mn	mg/kg	466,250
Mo	mg/kg	0,536
Na	mg/kg	9169,643
Ni	mg/kg	13,750
P	mg/kg	447,143
Pb	mg/kg	5,179
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,179
Si	mg/kg	12535,536
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081D**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM04-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	67,679
Ti	mg/kg	2890,536
Tl	mg/kg	1,786
V	mg/kg	131,250
Zn	mg/kg	56,250
Ag	mg/kg	0,357

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
 .....  
 G.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
 CGPFA 00424  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081E**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM05-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,714
Al	mg/kg	7683,929
As	mg/kg	10,536
B	mg/kg	51,607
Ba	mg/kg	33,214
Be	mg/kg	0,000
Ca	mg/kg	5560,714
Cd	mg/kg	0,714
Co	mg/kg	16,071
Cr	mg/kg	32,857
Cu	mg/kg	31,250
Fe	mg/kg	16455,357
K	mg/kg	14135,714
Li	mg/kg	13,929
Mg	mg/kg	108,929
Mn	mg/kg	558,571
Mo	mg/kg	0,536
Na	mg/kg	8176,786
Ni	mg/kg	14,643
P	mg/kg	508,036
Pb	mg/kg	3,571
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,000
Si	mg/kg	12586,607
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081E**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM05-2022

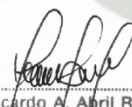
**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	116,250
Ti	mg/kg	3068,571
TI	mg/kg	1,964
V	mg/kg	168,214
Zn	mg/kg	56,786
Ag	mg/kg	0,714

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
C.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CGFDA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081F**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM06-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,714
Al	mg/kg	18839,286
As	mg/kg	7,857
B	mg/kg	48,393
Ba	mg/kg	37,143
Be	mg/kg	0,536
Ca	mg/kg	3716,071
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	12,857
Cr	mg/kg	17,679
Cu	mg/kg	36,964
Fe	mg/kg	16401,786
K	mg/kg	16092,857
Li	mg/kg	13,750
Mg	mg/kg	319,821
Mn	mg/kg	378,571
Mo	mg/kg	0,357
Na	mg/kg	10171,429
Ni	mg/kg	12,143
P	mg/kg	308,571
Pb	mg/kg	4,821
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,000
Si	mg/kg	12705,357
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081F**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM06-2022


**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	74,286
Ti	mg/kg	3194,643
TI	mg/kg	2,500
V	mg/kg	113,393
Zn	mg/kg	37,679
Ag	mg/kg	0,714

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFCA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081G**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM07-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,714
Al	mg/kg	9566,071
As	mg/kg	7,679
B	mg/kg	41,071
Ba	mg/kg	72,857
Be	mg/kg	0,536
Ca	mg/kg	3583,929
Cd	mg/kg	2,143
Co	mg/kg	13,750
Cr	mg/kg	21,071
Cu	mg/kg	31,429
Fe	mg/kg	16430,357
K	mg/kg	15405,357
Li	mg/kg	10,536
Mg	mg/kg	406,607
Mn	mg/kg	382,857
Mo	mg/kg	0,357
Na	mg/kg	10335,714
Ni	mg/kg	12,857
P	mg/kg	431,071
Pb	mg/kg	2,500
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,179
Si	mg/kg	12788,214
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081G**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM07-2022

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	149,643
Ti	mg/kg	3062,321
TI	mg/kg	1,964
V	mg/kg	134,107
Zn	mg/kg	44,464
Ag	mg/kg	0,714

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081H**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM01-2023

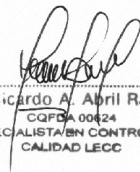
**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	53,214
Ti	mg/kg	2883,036
TI	mg/kg	1,964
V	mg/kg	108,036
Zn	mg/kg	48,750
Ag	mg/kg	0,893

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
O.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQPBA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081H**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM01-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,893
Al	mg/kg	22339,286
As	mg/kg	9,107
B	mg/kg	58,571
Ba	mg/kg	67,500
Be	mg/kg	0,357
Ca	mg/kg	4364,286
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	14,464
Cr	mg/kg	25,000
Cu	mg/kg	40,000
Fe	mg/kg	16258,393
K	mg/kg	22232,143
Li	mg/kg	18,750
Mg	mg/kg	411,607
Mn	mg/kg	517,500
Mo	mg/kg	0,714
Na	mg/kg	11605,357
Ni	mg/kg	14,643
P	mg/kg	391,607
Pb	mg/kg	8,571
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,179
Si	mg/kg	12525,893
Sn	mg/kg	1,964

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081I**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM02-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,357
Al	mg/kg	15033,929
As	mg/kg	6,964
B	mg/kg	41,786
Ba	mg/kg	49,286
Be	mg/kg	0,714
Ca	mg/kg	1591,964
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	9,821
Cr	mg/kg	8,214
Cu	mg/kg	25,714
Fe	mg/kg	16398,214
K	mg/kg	19125,000
Li	mg/kg	13,036
Mg	mg/kg	651,250
Mn	mg/kg	328,571
Mo	mg/kg	0,536
Na	mg/kg	9012,500
Ni	mg/kg	9,286
P	mg/kg	235,536
Pb	mg/kg	6,786
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,357
Si	mg/kg	12580,357
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.0050811

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : María Claudia Cáceres Obada  
Dirección del cliente : Sachaca Campo Verde  
RUC : No corresponde  
Identificación del contacto : María Claudia Cáceres Obada  
Descripción de la muestra : Sedimento PM02-2023

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente  
Tamaño de muestra : 5 g  
Fecha de recepción : 09/11/2023  
Fecha de ejecución de ensayo : 09/11/2023 al 16/11/2023  
Fecha de emisión de informe : 21/11/2023  
Página : 2 de 2

Sr	mg/kg	94,107
Ti	mg/kg	2737,500
TI	mg/kg	2,500
V	mg/kg	66,607
Zn	mg/kg	26,786
Ag	mg/kg	0,357

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
D.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQPBA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081K**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM04-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,536
Al	mg/kg	9387,500
As	mg/kg	6,429
B	mg/kg	41,607
Ba	mg/kg	56,786
Be	mg/kg	0,357
Ca	mg/kg	1457,143
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	11,071
Cr	mg/kg	11,964
Cu	mg/kg	25,536
Fe	mg/kg	16941,071
K	mg/kg	15621,429
Li	mg/kg	15,714
Mg	mg/kg	717,500
Mn	mg/kg	403,750
Mo	mg/kg	0,357
Na	mg/kg	7976,786
Ni	mg/kg	10,536
P	mg/kg	233,929
Pb	mg/kg	2,857
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,000
Si	mg/kg	12700,000
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.0050811

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : María Claudia Cáceres Obada  
Dirección del cliente : Sachaca Campo Verde  
RUC : No corresponde  
Identificación del contacto : María Claudia Cáceres Obada  
Descripción de la muestra : Sedimento PM03-2023

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente  
Tamaño de muestra : 5 g  
Fecha de recepción : 09/11/2023  
Fecha de ejecución de ensayo : 09/11/2023 al 16/11/2023  
Fecha de emisión de informe : 21/11/2023  
Página : 2 de 2

Sr	mg/kg	116,964
Ti	mg/kg	3350,000
TI	mg/kg	2,143
V	mg/kg	78,036
Zn	mg/kg	45,179
Ag	mg/kg	0,536

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
Q. F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFBA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081I**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM03-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,536
Al	mg/kg	18982,143
As	mg/kg	8,214
B	mg/kg	70,179
Ba	mg/kg	60,000
Be	mg/kg	0,893
Ca	mg/kg	1249,821
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	11,607
Cr	mg/kg	12,143
Cu	mg/kg	32,143
Fe	mg/kg	19053,571
K	mg/kg	19500,000
Li	mg/kg	13,750
Mg	mg/kg	1048,393
Mn	mg/kg	407,500
Mo	mg/kg	0,714
Na	mg/kg	11673,214
Ni	mg/kg	10,536
P	mg/kg	350,179
Pb	mg/kg	8,929
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,536
Si	mg/kg	12767,500
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081K**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM04-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	116,071
Ti	mg/kg	3375.000
Tl	mg/kg	2,321
V	mg/kg	94,643
Zn	mg/kg	24,821
Ag	mg/kg	0,536

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
O. F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CGFDA 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081L**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM05-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,714
Al	mg/kg	16748,214
As	mg/kg	8,393
B	mg/kg	58,571
Ba	mg/kg	37,500
Be	mg/kg	1,071
Ca	mg/kg	5412,500
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	11,429
Cr	mg/kg	10,893
Cu	mg/kg	32,500
Fe	mg/kg	18946,429
K	mg/kg	17317,857
Li	mg/kg	19,643
Mg	mg/kg	252,500
Mn	mg/kg	542,143
Mo	mg/kg	0,536
Na	mg/kg	7448,214
Ni	mg/kg	11,071
P	mg/kg	322,321
Pb	mg/kg	6,964
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,893
Si	mg/kg	12664,464
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081L**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM05-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	67,143
Ti	mg/kg	2835,714
Tl	mg/kg	2,500
V	mg/kg	77,500
Zn	mg/kg	43,393
Ag	mg/kg	0,714

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
G. F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFDA 00624  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081M**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM06-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,179
Al	mg/kg	6782,143
As	mg/kg	9,464
B	mg/kg	47,321
Ba	mg/kg	74,107
Be	mg/kg	0,893
Ca	mg/kg	3946,429
Cd	mg/kg	0,000
Co	mg/kg	10,714
Cr	mg/kg	12,143
Cu	mg/kg	31,071
Fe	mg/kg	16560,714
K	mg/kg	19535,714
Li	mg/kg	15,357
Mg	mg/kg	731,964
Mn	mg/kg	565,357
Mo	mg/kg	0,714
Na	mg/kg	9060,714
Ni	mg/kg	12,143
P	mg/kg	379,286
Pb	mg/kg	6,964
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	1,071
Si	mg/kg	12532,857
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081M**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM06-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	165,000
Ti	mg/kg	2942,857
Tl	mg/kg	2,321
V	mg/kg	80,893
Zn	mg/kg	48,571
Ag	mg/kg	0,179

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
O. F. Ricardo A. Abril Ramírez  
CQFD 00424  
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081N**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM07-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 1 de 2

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES**

Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/kg	0,179
Al	mg/kg	14164,286
As	mg/kg	6,964
B	mg/kg	50,536
Ba	mg/kg	56,429
Be	mg/kg	0,179
Ca	mg/kg	4080,357
Cd	mg/kg	0,714
Co	mg/kg	17,143
Cr	mg/kg	33,393
Cu	mg/kg	26,786
Fe	mg/kg	16453,571
K	mg/kg	15130,357
Li	mg/kg	13,036
Mg	mg/kg	328,929
Mn	mg/kg	549,107
Mo	mg/kg	0,357
Na	mg/kg	8064,286
Ni	mg/kg	14,821
P	mg/kg	481,429
Pb	mg/kg	1,964
Sb	mg/kg	0,000
Se	mg/kg	0,000
Si	mg/kg	12761,786
Sn	mg/kg	0,000

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA09K23.005081N**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : María Claudia Cáceres Obada  
**Dirección del cliente** : Sachaca Campo Verde  
**RUC** : No corresponde  
**Identificación del contacto** : María Claudia Cáceres Obada  
**Descripción de la muestra** : Sedimento PM07-2023

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 5 g  
**Fecha de recepción** : 09/11/2023  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 09/11/2023 al 16/11/2023  
**Fecha de emisión de informe** : 21/11/2023  
**Página** : 2 de 2

Sr	mg/kg	74,464
Ti	mg/kg	3091,964
Tl	mg/kg	2,143
V	mg/kg	171,964
Zn	mg/kg	49,821
Ag	mg/kg	0,179

**OBSERVACIONES:**

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

  
 O.F. Ricardo A. Abril Ramírez  
 CQFDA 00424  
 ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC

