

# Presencia de metales pesados en suelos agrícolas de la subcuenca Llallimayo, departamento de Puno

## Heavy metals in agricultural soils of the Llallimayo sub-basin, department of Puno

Germán R. Espinoza\_Rivas<sup>A</sup>, José A. Cárdenas\_Catalán<sup>B</sup>, Nora G. Echegaray\_Peña<sup>C</sup>

<https://orcid.org/000-0002-65477761><sup>A</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-1155-0943><sup>B</sup>

<https://orcid.org/000-0001-8664-1535><sup>C</sup>

(Recepción: 15/08/2022 y aceptación 10/11/2022)

**Resumen**— La contaminación de medios acuáticos por metales pesados es una de las mayores preocupaciones en localidades rurales y ciudades urbanas, para ello durante los meses de julio y noviembre del año 2020, se evaluaron parámetros y tomaron muestras aguas arriba y abajo del río Chacapalca, analizándose los parámetros fisicoquímicos: como el potencial hidrógeno (pH), la temperatura (°C), la conductividad eléctrica (CE); metales pesados: Aluminio (Al), arsénico (As), cadmio (Cd), cromo total (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn); coliformes totales y coliformes termotolerantes. El objetivo fue evaluar la calidad del agua en la subcuenca del río Llallimayo e identificar los factores contaminantes correlacionados con los ECA del agua del D.S. N° 004-2017-MINAM. Los parámetros inorgánicos indican que los valores altos de pH (9,7) y CE (2674) sobrepasan los valores ECA; asimismo, los parámetros inorgánicos muestran que los elementos Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb, no son aptos para riego de vegetales, bebida de animales y calidad del ambiente acuático. Concluyendo que, la descarga del efluente minero contamina gravemente y llevan a sobrepasar los límites permisibles para Al, As, Cu, Fe, Mn y Zn en agua para uso y consumo humano.

**Palabras clave:** Agua superficial, calidad del agua, contaminación, metales pesados.

**Abstract**— Contamination of aquatic environments by heavy metals is one of the major concerns in rural localities and urban cities, for this reason during the months of July and November 2020, parameters were evaluated and samples were taken upstream and downstream of the Chacapalca river, analyzing physicochemical parameters: such as hydrogen potential (pH), temperature (°C), electrical conductivity (EC); heavy metals: aluminum (Al), arsenic (As), cadmium (Cd), total chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), mercury (Hg), lead (Pb), zinc (Zn); total coliforms and thermotolerant coliforms. The objective was to evaluate water quality in the Llallimayo River sub-basin and identify the pollutant factors correlated with the water ECAs of D.S. N° 004-2017-MINAM. The inorganic parameters indicate that high values of pH (9.7) and EC (2674) exceed the ECA values; likewise, the inorganic parameters show that the elements Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg and Pb, are not suitable for vegetable irrigation, animal drinking and aquatic environment quality. In conclusion, the discharge of mining effluent seriously contaminates and exceeds the permissible limits for Al, As, Cu, Fe, Mn and Zn in water for human use and consumption.

**Keyword:** Contamination, heavy metals, surface water, water quality.

A. Germán R. Espinoza\_Rivas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, [gspinoza@unamba.edu.pe](mailto:gspinoza@unamba.edu.pe)

B. José A. Cárdenas\_Catalán, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, [jcardenas@unamba.edu.pe](mailto:jcardenas@unamba.edu.pe)

C. Nora G. Echegaray\_Peña, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, [nechegaray@unamba.edu.pe](mailto:nechegaray@unamba.edu.pe)

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad nuestro planeta enfrenta múltiples problemas ambientales provenientes de diversas fuentes, actividades económicas, industriales, antrópicas y causas naturales, los que en conjunto se traducen en impactos negativos a los ecosistemas y mayormente a los diferentes organismos que conllevan a la mutación de las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente. Esta causa es un denominador común y frecuente en nuestro país, que se refleja del crecimiento poblacional traducido en un incremento de las manchas urbanas generando la disminución y pérdida de cualidades de los ecosistemas, así como la degradación de suelos agrícolas [1], [2], [3], [4]. La alteración de los suelos, recursos hídricos y del aire por metales pesados y metaloides, proyectan una tendencia de la problemática más severa que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel local y mundial. [1], [5], [6]. Cabe señalar que las diversas actividades antropogénicas e industriales vienen generando un aumento en la emisión de sustancias contaminantes, causando la acumulación de polución en los suelos, agua y plantas, que están íntimamente relacionados con las especies animales; lo cual facilita la entrada de dichas sustancias tóxicas a las redes tróficas. Dentro de los contaminantes ambientales se encuentran los metales pesados, algunos de estos metales son benéficos, debido al papel que desempeñan en las funciones bioquímicas y fisiológicas en los seres vivos y otros pueden ser muy tóxicos o inclusive letales en concentraciones muy bajas [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13].

Un asunto contemporáneo y álgido que desvela la realidad de nuestra región y el ámbito de nuestro país, es que la mayoría de los proyectos mineros en Perú, contaminan las aguas debido a los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales, indudablemente ello incrementa el grado de contaminación en ríos, lagos, lagunas y en el mar, que son los receptores hídricos de las evacuaciones residuales provocadas por el hombre. La contaminación del recurso hídrico, evidenciado en el cambio de su composición físico-química, inorgánica y microbiológica por metales pesados a altas concentraciones como: Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg y algunos reactivos químicos concurrentes de los referidos procesos metalúrgicos, provenientes de las plantas de tratamientos de minerales no son susceptibles ni a una bio- ni a una quimio-remediación en el corto plazo [14], [15], [16], [17], [18], conllevando a un nivel alarmante de toxicidad para el hombre, flora y fauna de los ecosistemas.

La presencia de metales pesados, como Pb, Cd, Hg, Cr entre otros, se acumulan y permanecen en el ambiente al igual que en los organismos vivos (provocando toxicidad, bioacumulación, alteraciones bioquímicas o mutagénesis, en plantas y animales), por largos períodos de tiempo [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Cabe señalar que el origen de las altas concentraciones de Cu, Pb, Zn, Cr, Ni y Sn son las diversas actividades domésticas e industriales de las urbes adyacentes a las cuecas ribereñas, así como la escorrentía urbana y agropecuaria, las aguas

residuales industriales y hospitalarias que se descargan en los ríos sin tratamiento previo (Vivas 2015; Kilunga *et al.* 2019). También se han reportado estadísticas sobre el contenido contaminante en metales pesados como la elevada concentración de Hg, Cu, Pb, Zn y Mn, y la contaminación moderada de Co y Fe en partes bajas y medias en el recorrido del cauce del río [6], pero lo resaltante es la contaminación severa en las partes altas o cabeceras de cuencas de los ríos con los efectos adversos sobre la biota acuática, de acuerdo con las directrices internacionales [26].

Es por ello que el presente estudio determina no solo la necesidad de evaluar la calidad del agua y ecosistemas altoandinos, además, amerita la importancia de analizar los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos de las diversas fuentes de agua, en particular la de consumo humano. El objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua y presencia de metales pesados en la subcuenca parte alta del río Llallimayo; para ello, se realizó el análisis y tomas de aguas in situ sobre los ríos Pataqueña y Chacapalca en dos puntos de muestreo tomas, RP-1 (aguas arriba) y RC-1 (aguas abajo), después de la confluencia con el río Azufrini, identificando los factores contaminantes correlacionados con los Estándares de Calidad del Agua del D.S. N° 004-2017-MINAM.

## 2 MÉTODOS

### 2.1 Lugar de estudio

El proyecto de investigación se ubica en la Provincia de Melgar, Distrito de Llalli, dentro de la unidad geográfica de Sierra y en la sub unidad geográfica del Altiplano. Como ámbito hidrográfico comprende los distritos de Ayaviri, Cupi, Llallí, Macari y Umachiri, en la provincia de Melgar; con una población ganadera (vacuno, ovino, camélido y porcino) de 1 326 553 animales, que beben mensualmente un volumen hídrico de 0,126 MMC de agua y que anualmente su demanda hídrica es de 1 506 MMC, cifra que representa el 31,06% del volumen total demandado. La sub unidad geográfica Altiplano, región Suni o Jalca, se encuentra en una altitud que va desde 3 500 a 4 100 m.s.n.m.; presenta una topografía relativamente plana o medianamente accidentada; la temperatura promedio anual oscila desde 0,06° C. hasta 19° C, con una precipitación promedio anual de 845 mm. La población estimada es de 4 719 habitantes (FUENTE: INEI – Censos Nacionales: XI de Población y VI de Vivienda 2017).

### 2.2 Población y muestra

Agua superficial de la subcuenca parte alta del río Llallimayo provincia de Melgar, departamento de Puno. No probabilística, para contaminantes metálicos (*As*, *Cd*, *Cu*, *Hg* y *Pb*), 1 litro de agua por estación de monitoreo. El análisis instrumental está basado en la metodología internacional validada por EPA 200.8, Rev 5.4:1994. Determination of Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (Validado).2016. Estándar en el que se basa los procedimientos.

tos y resultados del Laboratorio de Ensayo SGS, acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA, con Registro N° LE - 002; donde se realizaron los análisis de agua de esta investigación.

La selección de los puntos de estudio para la toma de muestras fue mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia o juicio, tomando en consideración la disposición de tiempo y recursos para el desarrollo de la investigación; después de ello, se adaptará el método teórico de relación, validación, comparación e interpretación de datos.

### 2.3 Puntos de muestreo de aguas en el área de estudio

La tabla 1 líneas abajo, presenta la ubicación de los puntos de muestreo para los análisis de los componentes físico-químicos a lo largo de los ríos Pataqueña y Chacapalca de la subcuenca parte alta del río Llallimayo.

**TABLA 1**  
**Ubicación de los puntos de muestreo**

Puntos de Muestreo	Descripción	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
P-1	Este punto se encuentra ubicado en el río Pataqueña, 200 metros aguas arriba, antes de la confluencia con el río Azufrini, a 70 m noroeste del Cerro Chatalalla, a una altitud de 4446 m.n.m	8 311 529	300 634
P-2	Este punto se encuentra ubicado en el río Chacapalca, 150 metros aguas abajo de la confluencia con el río Azufrini cerca del área de deslizamiento de la ladera oeste del Cerro Joillone, a 50 m al norte del Cerro Villacolco, a una altitud 4452 m.s.n.m.	8 311 694	300 449



Fig. 1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo - Fuente: Google Earth Pro 2021

### 2.4 Descripción del método de investigación

La investigación es de tipo cualitativa, primero se analizaron los parámetros físico-químicos, luego se realizó la caracterización de los parámetros inorgánicos, para finalmente evaluar los parámetros microbiológicos

del agua de los ríos Pataqueña y Chacapalca respectivamente. El método empleado para los análisis de agua e identificación de los parámetros inorgánicos fue a través del laboratorio SGS, utilizando el método instrumental de espectrometría de absorción atómica.

Los principales parámetros físico-químicos como el pH y conductividad son indicadores que las aguas del río Pataqueña aguas arriba se encuentran ligeramente afectadas por la actividad agropecuaria de la zona. Los parámetros inorgánicos: Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb en la columna de agua determinan la calidad del agua del río Chacapalca aguas abajo; asimismo los parámetros microbiológicos precisan que existe presencia de coliformes termotolerantes a lo largo del cauce principal aguas arriba del río Pataqueña.

Tipo de investigación. Es descriptiva y explicativa o causal.

### 2.5 Estándares Nacionales para Calidad Ambiental del Agua

En el Perú existen normas ambientales de disposición obligatoria en todo proyecto de inversión pública y/o privada que implique actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos. Estas normas ambientales establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, cuáles serán los niveles de sustancias contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del medio ambiente. Los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) como instrumentos de la legislación ambiental peruana tienen una contradicción: considera al ecosistema como un sistema complejo adaptativo (CAS), pero las metas para su gestión y las herramientas que usan son de sistemas simples. [27].

**TABLA 2**  
**Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de Medida	AGUA PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALI	
		D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales
<b>Físicos-Químicos</b>			
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Conductividad	μS/cm	2500	5000
Oxígeno Disuelt	mg/L	≥ 4	≥ 5
<b>Inorgánicos</b>			
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,1	0,2
Cadmio	mg/L	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,2	0,5
Manganeso	mg/L	0,2	0,2
Mercurio	mg/L	0,001	0,01
Plomo	mg/L	0,05	0,05
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1000	1000

## 2.6 Muestreo de aguas para parámetros inorgánicos

La caracterización se efectuó en 2 puntos de muestreo, se recolectó 2 muestras de agua para cada punto de muestreo y se analizaron siete parámetros por muestra de agua (Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb).

Se ubicaron dos (02) puntos para realizar esta investigación los cuales se detallan en la tabla N° 1. Los muestreos se realizaron de manera aleatoria, con dos repeticiones. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados y esterilizados in situ dos veces y rotulados adecuadamente cada envase. Para el transporte de las muestras al laboratorio SGS se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador especial para muestras (plastofom) manteniéndose aproximadamente el interior a una temperatura de 4° C. El arribo de las muestras al laboratorio se conservó a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas las muestras.

TABLA 3

**Estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para Agua – D.S. N° 004-2017-MINAM – Categoría 4 Conservación del ambiente acuático**

Los análisis de agua se realizaron en el laboratorio acreditado SGS de la ciudad de Lima.

- Método de Análisis de Arsénico: Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Método de Análisis de Mercurio: Absorción Atómica de vapor en frío.

TABLA 4

**Variables hidroquímicas y metodologías de parámetros inorgánicos**

Parámetros	Unidad de Medida	Métodos Utilizados	Límite de Detección
Aluminio	mg/L	EPA METHOD 3051A:2007. Micro-ware Assisted Acid	0.001
Arsénico	mg/L	Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils/EPA	0.00003
Cadmio	mg/L	METHOD 6020B:2014. Inductively Coupled	0.00001
Cobre	mg/L	Plasma-Mass Spectrometry.	0.00003
Manganeso	mg/L		0.00003
Mercurio	mg/L		0.00003
Plomo	mg/L		0.0002

### 2.6.1 Diseño estadístico

Se considerará la evaluación de los parámetros inorgánicos-metales pesados Al, As, Cd, Cu, Mn, Hg y Pb en base a la concentración de los muestreos que se realizaron de manera aleatoria; con repetición. Para efectos del presente trabajo se utilizó el diseño completo al azar, donde fueron evaluados el área de estudio. Para la solución del modelo aditivo lineal se aplicó el programa de SAS 9.0.

El modelo de la clasificación de doble entrada es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, r, \quad j = 1, \dots, t$$

$$E(e_{ij}) = 0, \quad E(e_{ij}^2) = \sigma^2, \quad E(e_{ij} e_i e_j) = 0$$

Dónde:

CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO			
Parámetros	Unidad de Medida	E1 Lagunas y Lagos	E2 Ríos Costa y Sierra
<b>Físicos-Químicos</b>			
pH	Unidad de pH	6,5 – 9,0	6,5 – 9,0
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3
Conductividad	μS/cm	1000	1000
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 5	≥ 5
<b>Inorgánicos</b>			
Arsénico	mg/L	0,15	0,15
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025
Cobre	mg/L	0,1	0,1
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes	NMP/100ml	1000	2000
Termotolerantes			

$\mu$  = media

$\tau_j$  = efecto del tratamiento j (efecto de los ríos tributarios).

$e_{ij}$  = error aleatorio producido por el bloque i y tratamiento j.

$E()$  = operador valor esperado.

### 2.9.2 Análisis de Varianza

Para el modelo estadístico lineal el análisis de varianza va a tener tres fuentes de variación. Tratamientos, bloques, error, que juntos constituyen la variabilidad total.

### 2.10 Técnicas de Muestreo

El muestreo se realizó en zonas de máximo caudal de agua, evitando la remoción de sedimentos. La toma de muestras se realizó en recipientes de polietileno de alta densidad, lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1% de acuerdo al protocolo. Se cebó tres veces el recipiente con agua de río del punto de muestreo respectivo. La toma de muestras se hizo de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA).

Para la obtención de valores “in situ” potencial de hidrogeno (pH), temperatura (T°), oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), se utilizó el multiparámetro (modelo Hanna HI991301). Para la determinación de metales se usó el Espectrofotómetro de absorción atómica del laboratorio SGS (Marca Perkinelmer analyst 200). Para la evaluación de la concentración de metales pesados se utilizó una tabla de doble entrada donde se registró el tipo y la muestra, de acuerdo a su concentración, teniendo en cuenta el número de muestras estudiadas.

La recolección de muestras se hizo desde el mes de diciembre de 2020 a febrero de 2021. En cada punto se tomó

una muestra para el análisis de los parámetros físico-químicos, inorgánicos y microbiológicos, quedando registradas en la cadena de custodia correspondientes para cada unidad de muestreo.

### 3 RESULTADOS

#### Características de los parámetros inorgánicos-metales pesados en la subcuenca parte alta del río Llallimayo

La presencia de los metales se muestra de diversas formas, sean antrópicas o naturales, estos pueden llegar a los cursos de agua a través de múltiples vías. En una frecuencia de eventos mucho mayor, pero a concentraciones que no pueden calificarse de catastróficas, la llegada de tóxicos a los sistemas acuáticos puede producir efectos notables sobre la composición de la biota y la organización del ecosistema [28].

**TABLA 5**  
Resultados de análisis para el Aluminio en los ríos Pataqueña y Chacapalca

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		5,0	5,0	No aplica
Aluminio	mg/L	P1	0,038	0,038	0,038
		P2	13,167	13,167	13,167

Con un valor preocupante de 13.167 mg/L frente a un valor permisible de 5 mg/L que establece el ECA, ello implica un 160% de excesividad de su valor tolerable. De acuerdo información relevante y fuentes bibliográficas, el aluminio es más tóxico a temperaturas bajas y cuando el pH tiende a ser ácido; este análisis corrobora la inexistencia de fauna en la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, concluyendo que el aporte principal son las actividades mineras y de procesamiento de minerales provenientes de la minera Aruntani. Por esta razón, las aguas de este cuerpo hídrico no son aptas para riego de vegetales y bebida de animales y consecuentemente la calidad del ambiente acuático está gravemente afectada.

**TABLA 6**  
Resultados de análisis Arsénico de los ríos Pataqueña y Chacapalca

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,1	0,2	0,15
Arsénico	mg/L	P1	0,07760	0,07760	0,07760
		P2	0,10622	0,10622	0,10622

En valor del arsénico en las aguas superficiales del río Pataqueña, punto de muestreo P-1 no excede el ECA para

aguas, a diferencia del valor máximo obtenido en el P-2 aguas abajo del río Chacapalca, que si sobrepasa el valor permisible por el ECA para aguas de uso riego de vegetales, atribuyéndose que es la presencia de la minera Aruntani quien contamina con esta concentración metálica, haciendo que el ambiente acuático a partir de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña sea considerado degradado por la presencia del arsénico en sus aguas, afectando la flora y fauna del cuerpo de agua.

**TABLA 7**  
Resultados de análisis para el Cadmio en los ríos Pataqueña y Chacapalca

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,01	0,05	0,00025
Cadmio	mg/L	P1	< 0,00003	< 0,00003	< 0,00003
		P2	0,01056	0,01056	0,01056

La presencia del cadmio en aguas superficiales está asociada a residuos industriales y procesos de lixiviación en actividades mineras, como es el caso de nuestro estudio. El valor obtenido aguas debajo de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña, se debe sin duda a la presencia y actividad de la minera Aruntani.

**TABLA 8**  
Resultados de análisis para el Cobre en los ríos Pataqueña y Chacapalca

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,2	0,5	0,1
Cobre	mg/L	P1	0,00165	0,00165	0,00165
		P2	1,56238	1,56238	1,56238

El valor de 1,56238 obtenido en el punto de muestreo P-2 aguas abajo del río Chacapalca es realmente inquietante frente a un valor permisible de 0,1 mg/L, 0,2 mg/L y 0,5 mg/L que establece el ECA para las categorías de uso de aguas de riego de vegetales, bebida de animales y conservación del ambiente acuático. De acuerdo a bibliografía disponible, el cobre es sumamente letal y tóxico a temperaturas bajas y cuando el pH tiende a ser ácido; este análisis corrobora la poca presencia de flora, fauna y otros organismos en la parte alta de la subcuenca del río Llallimayo, deduciendo que el aporte principal de este elemento son las actividades mineras y generación de desechos tóxicos de procesamiento provenientes de la minera Aruntani. Razón por la cual, las aguas de este cuerpo hídrico no son aptas para riego de vegetales y bebida de animales y consecuentemente la calidad del ambiente acuático se está viendo fuertemente afectada.

**TABLA 9**  
Resultados de análisis para el Manganeso en los ríos

**Pataqueña y Chacapalca**

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,2	0,2	No aplica
Manganeso	mg/L	P1	0,01142	0,01142	0,01142
		P2	0,48139	0,48139	0,48139

La presencia del manganeso en el cuerpo de agua de la subcuenca parte alta del río Llallimayo nos muestra que la única fuente que puede encontrarse es a través de procesos industriales de actividad minera, lo preocupante al igual que otras sustancias de metales pesados como el plomo, cadmio y/o mercurio es que no se degradan y es bioacumulable en el organismo viviente. Con estos valores se precisa que el cuerpo de agua del río Llallimayo no es permisible para riego de vegetales, ni bebida de animales y consecuentemente deteriora la calidad del ambiente acuático de la subcuenca del río mencionado.

**TABLA 10****Resultados de análisis para el Mercurio en los ríos Pataqueña y Chacapalca**

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		0,001	0,01	0,0001
Mercurio	mg/L	P1	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009
		P2	< 0,00009	< 0,00009	< 0,00009

La presencia del mercurio por debajo de los niveles ECA con ese valor no nos hace pensar que deja de ser nocivo, existe un grado de existencia que puede incrementarse en periodos de avenidas, dado que el agua por efecto de las lluvias hace que se diluya e incremente su valor en el medio acuático.

**TABLA 11****Resultados de análisis para el Plomo en los ríos Pataqueña y Chacapalca**

Parámetro	Unidad de Medida	Punto de Muestreo	Índices de Campo		
			D1 Riego de vegetales	D2 Bebida de animales	E2 Ambiente acuático
Valores ECA	mg/L		5,0	5,0	No aplica
Plomo	mg/L	P1	0,0009	0,0009	0,0009
		P2	0,0019	0,0019	0,0019

Los bajos niveles de plomo en los ambientes acuáticos de la zona de estudio, consideran que brindan una relativa seguridad de su inexistencia, pero ello no da lugar a pensar que pueden dejar de aumentar su presencia en épocas de lluvias, sobre todo en la parte baja del río Chacapalca, cuyo valor es 0,0019 mg/L.

El peso de grano por panoja de seis cultivares de quinua (gr), por bloques (B1, B2, B3) se consigna el promedio y la varianza y se tiene que la variedad con menor Peso de grano por panoja es Pasankalla con 8.37 gr seguido por INIA Salcedo con 10.82 gr y la variedad de tiene mayor peso de grano por panoja es Amarilla Marangani. Resultado que es corroborado por Nuñez [1], que obtuvo resultados de peso de grano de panojas secundarias con respecto al número de plantas por golpe de siembra. en plantas de quinua, obteniendo que el peso de grano de panojas secundarias disminuye en función del número de plantas por golpe, de este modo cuando en el golpe de siembra si hubo una planta el peso de panojas secundarias fue de 46,78 gr, para disminuir progresivamente, así los valores descienden hasta un promedio de 23,63 gr cuando en el golpe de siembra crecieron cuatro plantas. Asimismo, Pérez [2] obtuvo resultados que mediante la prueba de Tukey ( $p > 0.05$ ), la variedad Pasankalla estadísticamente es superior a la Variedad Negra Collana, esta superioridad está dada por morfología diferente a las dos variedades, mientras las variedades de Pasankalla y Negra Collana obtiene el menor peso diferenciándose de una a otra, los valores promedios alcanzados son de 7.48 a 9.11 gr respectivamente. De igual manera Amiquero [3]. Obtuvo resultados que a través de la prueba de Tukey se tiene que el peso de panoja, considerando los 24 cultivares varía entre 48.2 y 116.2 gr para los cultivares CQA-059 y CQA-046 respectivamente, se pueden considerar tres categorías, un cultivar con valor alto (116.2 gr), diecinueve cultivares con valores medios (entre 55.8 a 106.0 gr) y cuatro cultivares con valores bajos (menor o igual a 53.2 gr), dentro de cada grupo no existe diferencia significativa.

**4 DISCUSIÓN**

De acuerdo a los valores obtenidos en el laboratorio para el parámetro de coliformes termotolerantes, los microorganismos fecales y patógenos desaparecen y son exterminados en un ambiente acuático de carácter ácido, por la presencia de rangos elevados en aluminio, arsénico, cobre cadmio y manganeso, presentes en elevadas cantidades, convirtiéndolo de aguas alcalinas aguas arriba del río Pataqueña a un cuerpo de elevada acidez en la parte baja de la confluencia con el río Azufrini, aguas abajo del río Chacapalca.

Para los parámetros físico-químicos, los resultados obtenidos de campo nos indican que los valores altos del pH (9,7) y la CE (2674) sobrepasan los valores ECA para aguas, lo cual explica que este valor de acidez responde a la mineralización ácida de las aguas después de la confluencia del río Azufrini de carácter contaminante hacia el río Pataqueña; asimismo, la CE se le atribuye a la presencia de metales pesados provenientes del río Azufrini. Cabe precisar que el muestro de aguas se realizó en época de estiaje (mes de julio) y ello concluye que los resultados no están relacionados a las precipitaciones, ya que las aguas de lluvia incrementan la disolución de minerales.

Los resultados de los parámetros inorgánicos muestran que los elementos analizados Al (13167), As (0.1062), Cd (0.01056), Cu (1.56238), Mn (0,48139), Hg (< 0,00009) y Pb (0,0019), los cinco primeros mencionados superaron los ECA permisibles para agua, calificándoseles como no permisibles para riego de vegetales, bebida de animales y calidad del ambiente acuático. Cabe señalar que la interpretación de estos valores fue evaluada con mucha cautela y los resultados nos inducen a asumir que la presencia de estos elementos tóxicos en las aguas de la subcuenca Llallimayo son provenientes de las actividades antrópicas e industriales de la mina Aruntani.

La evaluación de los parámetros microbiológicos, complementa la hipótesis de nuestro estudio, aguas arriba del río Pataqueña alcalinas por naturaleza, se concentran microorganismos fecales y patógenos (3300 NMP/100 ml por encima de los límites ECA), pero desaparecen completamente y son exterminados en un ambiente acuático de carácter ácido, por la presencia de rangos elevados en sustancias tóxicas como el aluminio, arsénico, cobre cadmio y manganeso, presentes en elevadas cantidades, convirtiéndolo de aguas alcalinas a un cuerpo de elevada acidez en la parte baja de la confluencia con el río Azufrini, aguas abajo del río Chacapalca; sin duda, corrobora la descarga de desechos industriales provenientes de la actividad minera en la zona.

## 5 CONCLUSIONES

Los ríos que conforman la subcuenca parte alta del río Llallimayo son el río Pataqueña aguas arriba y el río Chacapalca aguas abajo que se origina de la confluencia con el río Azufrini; estos cuerpos de agua presentan los siguientes parámetros físico-químicos: pH = 9,7 y 6,3; Temperatura = 9,5 y 9,8 °C; CE = 1582  $\mu$ S/cm y 2674  $\mu$ S/cm.

Las concentraciones de los parámetros inorgánicos-metales pesados son: Aluminio = 0,38 mg/L y 13,167 mg/L; Arsénico = 0,07760 mg/L y 0,10622 mg/L; Cadmio = < 0,00003 mg/L y 0,01056 mg/L; Cobre = 0,00165 mg/L y 1,56238 mg/L; Manganeso = 0, 01142 mg/L y 0,48139 mg/L; Mercurio = < 0,00009 mg/L y Plomo 0,0009 mg/L y 0,0019 mg/L.

Se identificaron que las concentraciones pH = 9,9 y 6,3; CE = 2674  $\mu$ S/cm; Aluminio = 13,167 mg/L; Arsénico = 0,10622 mg/L; Cadmio = 0,01056 mg/L; Cobre = 1,56238 mg/L y Manganeso = 0,48139 mg/L, son los parámetros identificados que sobrepasan los valores de Estándares de Calidad Ambiental establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM.

De acuerdo a la correlación e interpretación de los resultados de laboratorio y ECA para agua, establecido por el D.S. N° 004-2017-MINAM, se identifica que los parámetros que sobrepasan los valores de Estándares de Calidad

Ambiental para el agua son: Al, As, Cd, Cu y Mn; la no-cividad de estas sustancias metálicas elimina toda presencia de flora, fauna y microorganismos presentes en la subcuenca parte alta del río Llallimayo, infiriendo que las aguas no sean aptas para el riego de vegetales, bebida de animales y calidad del ambiente acuático; los cuales son correspondientes de acuerdo al ECA para la Categoría 3, Subcategorías D1, D2 y Categoría 4, Subcategoría E2 respectivamente.

La causa principal de contaminación de la subcuenca parte alta del río Llallimayo es la descarga de desechos industriales provenientes de la actividad minera en la zona, siendo el río Azufrini el cauce receptor de estas sustancias tóxicas y que al confluir con el río Pataqueña altera el equilibrio del ecosistema hídrico de la zona.

## REFERENCIAS

- [1] Alahabadi, A., Malvandi, H., 2018, Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran, *Mar. Pollut. Bull.*, 133, 741–749. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.030>
- [2] Mohammad, M., Lokman, M., Islam, S. Rahman, Z., (2016). *Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh*, *Environ. Nanotech, Monit. Manag.*, 5, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.01.002>
- [3] Saiful, I., Belal, H., Matin, A. Shafiqul, S., I., (2018). Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh, *Chemosp.*, 202, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.077>
- [4] Kang, M., Tian, Y., Peng, S., Wang, M. (2019). *Effect of dissolved oxygen and nutrient levels on heavy metal contents and fractions in river surface sediments*, *Sci. Total Environ.*, 648, 861–870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.201>
- [5] Duodu, G. O., Goonetilleke, A., Ayoko, G. A. (2016). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment, *Environ. Pollut.*, 219, 1077–1091, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.008>
- [6] Chen Y. (2018). Long-term and high-concentration heavy metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments, *Sci. Total Environ.*, 637, 1400–1412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.109>
- [7] Cobb, G., Sands, K., Waters, M., Wixson, M., y Dorward, K. E. (2000). Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. *Environ. Toxicol. Chem.*, 19:600-607. Doi:10.1002/etc.5620190311. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190311>
- [8] Negroni, M. (2009). *Microbiología Estomatológica. Fundamentos y guía práctica* (Segunda ed.) México: Editorial Medica Panamericana.
- [9] Rascio, N. y Navari I.F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Sci.* 180:169-181. Doi:10.1016/j.plantsci.2010.08.16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- [10] Tchounwou, P. B. Yedjou, C. G., Patlolla A. K. y Sutton D. J.

- (2012). *Heavy metal toxicity and the environmental toxicology*. 3: 133-164. doi:10.1007/978-3-7643-8340-4\_6. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)
- [11] Wang, X; Chen J; Yan X; Zhang J; Huang J; Zhao J. (2015). *Heavy metal chemical extraction from industrial and municipal mixed sludge by ultrasound- assisted citric acid* J. of Industrial and Engineering Chemistry. 27:368-372. doi: 10.1016/j.jiec.2015.01.016. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.01.016>
- [12] Bonanno G; Borg J.A.; Di Martino V. (2017). Levels of heavy metals in wetland and marine vascular plants and their bio-monitoring potential: *A comparative assessment*. Sc. of the Total Env. 576:796-806. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.171. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.171>
- [13] Chata (2015). *Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb, Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata. Puno*. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- [14] Chiang (1989). *Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile*. Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos, Santiago.
- [15] Rodríguez, D., Córdova, V., Pérez, O. (2015). *Educación Ambiental Vs. Baja Percepción Acerca De La Contaminación Por Metales Pesados En Comunidades Costeras*. Environ. Educ. Versus Low Percept. Coast. Communities Heavy Met. Contam., 1, 13-28.
- [16] José-Bracho, G., Cuador-Gil, J. Q. Rodríguez-Fernández, R. M. (2016). *Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia*, Minería y Geol., 32(1)
- [17] Laino Guanes, R.M. (2015). *Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera*, 6(1), 61-74.
- [18] Moronta-Riera, J. L., Riverón-Zaldivar A.B. (2016). *Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del lago de Maracaibo*, Minería Geol., 32(2), 102-111.
- [19] Quintero Rendón, L.A., Agudelo, E.A., Quintana Hernández, Y.A., Cardona Gallo, S.A., Osorio Arias, A.F. (2010). *Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos*, Gestión y Ambiente., 13(3), 51-64.
- [20] J. Mesa, E. Mateos-Naranjo, M.A. Caviedes, S. Redondo-Gomez, E. Pajuelo, I.D. Rodríguez-Llorente (2015). *Scouting contaminated estuaries: heavy metal resistant and plant growth-promoting rhizobacteria in the native metal rhizoaccumulator Spartina maritima*. Mar. Pollut. Bull., pp. 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.11.002>
- [21] Chopra, A.K., Sharma, M.K., Chamoli, S. (2011). *Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system-an overview*, Environ. Monit. Assess., 173
- [22] Pandey, M., Pandey, A.K., Mishra, A., Tripathi, B.D. (2014). *Assessment of metal bioaccumulation in Clarias batrachus and exposure evaluation in human*, Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci., 4(4), 176-184.
- [23] Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., Hashem, A., Fathi, E. (2019). *Bioaccumulation of heavy metals in Channa punctatus (Bloch) in river Ramganga (U.P.), India*, Saudi J. Biol. Sci., 15(20), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.02.009>
- [24] Zhang, Z., Wan, H., Ding, M., Wang, P., Xu, X., Jiang, Y. (2018). *Inherent bacterial community response to multiple heavy metals in sediment from river-lake systems in the Poyang Lake, China*, Ecotoxicol. Environ. Saf., 165(99) 314-324. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.010>
- [25] Ansah, K.E.E., Nkrumah, D., Nti, S.O., Opoku, F. (2019). *Adsorption of heavy metals (Cu, Mn, Fe and Ni) from surface water using Oreochromis niloticus scales*, Pollution, 5(1), 115-122.
- [26] Mora, A.M. Jumbo Flores, D., González Merizalde, M., Bermeo