



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

**“Evaluación biotóxica de organismos de  
ecosistemas acuáticos expuestos a contaminantes  
provenientes de componentes mineros polimetálicos”**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales

**AUTOR**

Miguel Angel SALVÁ BERENZ

**ASESOR**

Néstor TEVES RIVAS

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Salvá, M. (2018). *“Evaluación biotóxica de organismos de ecosistemas acuáticos expuestos a contaminantes provenientes de componentes mineros polimetálicos”*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica / Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 (Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA**



**UNIDAD DE POSGRADO**

*«Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional»*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

**SUSTENTACIÓN PÚBLICA**



En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, al primer día del mes de marzo del 2018, siendo las 11:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 070/UPG-FIGMMG/2018 del 08 de febrero del 2018, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TITULO

**«EVALUACIÓN BIOTOXICOLÓGICA DE ORGANISMOS DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS  
 EXPUESTOS A CONTAMINANTES PROVENIENTES DE COMPONENTES MINEROS POLIMETÁLICOS»**

*15 de R.  
900 A.  
Ax 10*

Que, presenta el Mag. **MIGUEL ANGEL SALVÁ BERENZ**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente 06009-FIGMMG-2013 del 12 de agosto del 2013, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Maestría».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

*Buena (15)*

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES** al Mag. **MIGUEL ÁNGEL SALVÁ BERENZ**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico

*[Signature]*  
 DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA  
 Presidente

*[Signature]*  
 DR. FRANCISCO ALEJANDRO ALCÁNTARA BOZA  
 Secretario

*[Signature]*  
 DR. ABAD FLORES PAUCARIMA  
 Miembro

*[Signature]*  
 DR. JORGE LEONARDO JAVENAKAYO  
 Miembro

*[Signature]*  
 DR. NÉSTOR ALFONSO TEVES RIVAS  
 Asesor



## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo agradecer a todas las personas que me apoyaron durante el desarrollo de este estudio, y muy en especial a las personas que menciono a continuación:

### **Familiares**

- M.Sc. Antonio Salvá Pando

### **Universidad Nacional de Ingeniería**

- M.Sc. Atilio Mendoza Apolaya

### **Universidad Nacional Federico Villarreal**

- Dr. Ing. Néstor Teves Rivas (Asesor)

- Dr. Ing. Walter Zambrano Cabanillas

- Ing. Ignacio Hinojosa Blanco

- Blga. Betty Gamero Collado

- Est. Deysi Gómez

- Est. Anny Oblitas

- Est. Álison Sánchez

- Est. Luz Orcoapaza

- Est. Chris León

## **DEDICATORIA**

A mi madre Ziska Berenz Vásquez,  
a mis tías Rufina y Aurora Pando García,  
y a mi tío Agustín Salvá Pando.

# ÍNDICE GENERAL

	Pag.
AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE CUADROS.....	X
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Situación problemática.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Justificación teórica.....	2
1.4 Justificación práctica.....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3

<b>CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Marco filosófico o epistemológico de la investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Antecedentes del problema.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1 Antecedente 1.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.2 Antecedente 2.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.3 Antecedente 3.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.4 Antecedente 4.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.5 Antecedente 5.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Bases teóricas.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.1 Actividad minera.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2 Evaluación geoquímica.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3 Ecosistemas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4 Ensayos biotóxicológicos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.5 Pruebas de mortandad en peces.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Tipo y diseño de investigación.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Unidad de análisis.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 Población de estudio.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Tamaño de muestra.....</b>	<b>35</b>
<b>3.5 Selección de la muestra.....</b>	<b>35</b>
<b>3.6 Técnica de recolección de datos.....</b>	<b>36</b>
<b>3.7 Análisis e interpretación de la información.....</b>	<b>42</b>

<b>CAPÍTULO 4 : RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Análisis, interpretación y discusión de los resultados.....</b>	<b>44</b>
4.1.1 Interpretación de la evaluación geoquímica.....	44
4.1.2 Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios.....	46
4.1.3 Interpretación de la evaluación biotóxica.....	47
4.1.4 Comparación de resultados de la evaluación biotóxica con otros estudios.....	52
4.1.5 Interpretación de la evaluación de calidad de agua.....	54
4.1.6 Comparación de resultados de la evaluación de calidad de agua con otros estudios.....	60
4.1.7 Interpretación de la evaluación de órganos internos.....	61
4.1.8 Comparación de resultados de la evaluación de órganos internos con otros estudios.....	63
4.1.9 Interpretación de la evaluación de bioacumulación de metales.....	63
4.1.10 Comparación de resultados de la evaluación de bioacumulación de metales.....	64
<b>4.2 Pruebas de hipótesis.....</b>	<b>65</b>
4.2.1 Hipótesis general.....	65
4.2.2 Hipótesis específicas.....	69
<b>4.3 Presentación de resultados.....</b>	<b>76</b>
4.3.1 Resultados de la evaluación geoquímica.....	76
4.3.2 Resultados de la evaluación biotóxica.....	77
4.3.3 Resultados de la evaluación de calidad de agua.....	79

4.3.4 Resultados de la evaluación de órganos internos.....	80
4.3.5 Resultados de la evaluación de bioacumulación de metales.....	81
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
ANEXOS.....	90

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura N° 1:</b> Relavera con alto contenido de metales e insumos orgánicos usados en las plantas metalúrgicas.....	15
<b>Figura N° 2:</b> Desmontera con gran porcentaje de silicatos y sulfuros de hierro.....	16
<b>Figura N° 3:</b> Cancha de mineral con alto porcentaje de minerales de cobre, zinc, plomo y hierro.....	17
<b>Figura N° 4:</b> Tajo abierto de un yacimiento de tipo pórfido de cobre.....	18
<b>Figura N° 5:</b> Primer Criterio de Estabilidad Geoquímica, basado en el Potencial Neto de Neutralización (PNN).....	19
<b>Figura N° 6:</b> Segundo Criterio de Estabilidad Geoquímica, basado en el Cociente entre el Potencial de Neutralización (PN) y el Potencial de Acidez (PA).....	20
<b>Figura N° 7:</b> Carpas (Cyprinus carpio).....	23
<b>Figura N° 8:</b> Criadero de Carpas.....	24
<b>Figura N° 9:</b> Ejemplo de un ensayo biotóxico utilizando agua de un río con alta turbidez.....	25
<b>Figura N° 10:</b> Ecosistema acuático contaminado, donde debería calcularse la CL50, utilizando como organismos a las especies afectadas .....	27
<b>Figura N° 11:</b> Ecosistema acuático contaminado, donde debería calcularse la CE50, utilizando como organismo a la especie afectada .....	28
<b>Figura N° 12:</b> Ejemplo de curvas de Análisis Probit, para 24 y 96 horas de ensayo respectivamente.....	30
<b>Figura N° 13:</b> Ejemplo de curvas de Toxicidad, en el lado izquierdo el tiempo en horas y en el derecho en día.....	31
<b>Figura N° 14:</b> Evaluación de órganos internos en peces.....	32
<b>Figura N° 15:</b> Posibles órganos afectados en los seres humanos por el consumo de alimentos contaminados.....	34

<b>Figura N° 16:</b> Muestras para la evaluación geoquímica de los 4 componentes, 1 relavera, 2 desmontera, 3 cancha de mineral y 4 tajo abierto.....	37
<b>Figura N° 17:</b> Muestras pulverizadas de los 4 componentes mineros, para realización de los ensayos biotxicológicos.....	38
<b>Figura N° 18:</b> Alevinos de Carpas que serán utilizados en los bioensayos.....	38
<b>Figura N° 19:</b> Acuarios de vidrio de 36 litros de capacidad que serán utilizados en los bioensayos.....	39
<b>Figura N° 20:</b> Ensayos biotxicológico en la primera etapa referencial con el material de relavera en 24 horas.....	40
<b>Figura N° 21:</b> Ensayos biotxicológico con el material de relavera en 96 horas con concentraciones de 0 (B), 100, 200, 500, 1000 y 2000 ppm.....	41
<b>Figura N° 22:</b> Peces después de los bioensayos de 96 horas, al lado izquierdo el pez continua vivo y al lado derecho el pez ha perecido.....	42
<b>Figura N° 23:</b> Muestras de agua de los 4 componentes mineros evaluados, con las Concentraciones Letales Medias (CL50) respectivas.....	43
<b>Figura N° 24:</b> Peces recolectados para la evaluación de órganos internos, al lado izquierdo los peces están sanos y al lado derecho los peces están afectados por el material de relavera.....	44
<b>Figura N° 25:</b> Ensayos biotxicológicos definitivos con Carpas, utilizando el material de relavera.....	48
<b>Figura N° 26:</b> Ensayos biotxicológicos definitivos con Carpas, utilizando el material de desmontera.....	49
<b>Figura N° 27:</b> Ensayos biotxicológicos definitivos con Carpas, utilizando el material de cancha de mineral.....	50
<b>Figura N° 28:</b> Ensayos biotxicológicos definitivos con Carpas, utilizando el material de tajo abierto.....	51



<b>Figura N° 29:</b> Branquias de las Carpas sanas (lado Izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).....	61
<b>Figura N° 30:</b> Hígado de Carpas sanas (lado Izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).....	61
<b>Figura N° 31:</b> Vista estereoscópica de branquias de Carpas sanas (lado Izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).....	62
<b>Figura N° 32:</b> Vista estereoscópica del hígado de Carpas sanas (lado Izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).....	62
<b>Figura N° 33:</b> Respuestas transformadas de Probit para la hipótesis general .....	68
<b>Figura N° 34:</b> Procedimiento en laboratorio y gabinete para la obtención de la Concentración Letal Media (CL50).....	69
<b>Figura N° 35:</b> Concentraciones Letales CL10, CL20, CL30, CL40 y CL50 para cada material, a partir de las curvas de análisis Probit.....	72
<b>Figura N° 36:</b> Órganos sanos y afectados de las Carpas sin influencia y expuestas al material de mina respectivamente y los metales que han sido bioacumulados.....	75

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pag.</b>
<b>Cuadro N° 1:</b> Evaluaciones, procedimientos y resultados que se obtendrán en el estudio .....	36
<b>Cuadro N° 2:</b> Interpretación de la evaluación Geoquímica.....	45
<b>Cuadro N° 3:</b> Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de relavera.....	46

<b>Cuadro N° 4:</b> Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de desmontera.....	46
<b>Cuadro N° 5:</b> Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de cancha de mineral.....	47
<b>Cuadro N° 6:</b> Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de tajo abierto.....	47
<b>Cuadro N° 7:</b> Comparación de resultados de la evaluación biotóxica con otros estudios.....	53
<b>Cuadro N° 8:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de relavera.....	55
<b>Cuadro N° 9:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de relavera.....	55
<b>Cuadro N° 10:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de desmontera.....	56
<b>Cuadro N° 11:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de desmontera.....	56
<b>Cuadro N° 12:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de cancha de mineral.....	57

<b>Cuadro N° 13:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de cancha de mineral.....	58
<b>Cuadro N° 14:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de tajo abierto.....	59
<b>Cuadro N° 15:</b> Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de tajo abierto.....	59
<b>Cuadro N° 16:</b> Comparación de resultados de la evaluación de agua con otros estudios .....	60
<b>Cuadro N° 17:</b> Comparación de resultados de la evaluación de órganos internos con otros estudios .....	63
<b>Cuadro N° 18:</b> Metales bioacumulados en las Carpas expuestas al material de relavera en 96 horas de ensayo.....	64
<b>Cuadro N° 19:</b> Comparación de resultados de la evaluación de bioacumulación de metales con otros estudios.....	65
<b>Cuadro N° 19:</b> Comparación de resultados de la evaluación de bioacumulación de metales con otros estudios.....	65
<b>Cuadro N° 20:</b> Estimación de parámetros para la hipótesis general .....	66
<b>Cuadro N° 21:</b> Pruebas de Chi-cuadrado para la hipótesis general .....	66
<b>Cuadro N° 22:</b> Límites de confianza para la hipótesis general.....	67
<b>Cuadro N° 23:</b> Pruebas de normalidad para la primera hipótesis específica.....	70
<b>Cuadro N° 24:</b> Estadísticos para la prueba de la primera hipótesis específica.....	70
<b>Cuadro N° 25:</b> Prueba Anova para la primera hipótesis específica....	71

<b>Cuadro N° 26:</b> Comparaciones múltiples de las Concentraciones Letales CL10, CL20, CL30, CL40 y CL50 del material de relavera.....	71
<b>Cuadro N° 27:</b> Pruebas de normalidad para la segunda hipótesis específica.....	73
<b>Cuadro N° 28:</b> Rangos para la segunda hipótesis específica.....	74
<b>Cuadro N° 29:</b> Estadísticos para la prueba de la segunda hipótesis específica.....	74
<b>Cuadro N° 30:</b> Resultados de la evaluación mineralógica.....	76
<b>Cuadro N° 31:</b> Resultados de la evaluación de metales.....	76
<b>Cuadro N° 32:</b> Resultados de la evaluación del Potencial Neto de Neutralización (PNN).....	76
<b>Cuadro N° 33:</b> Resultados de los ensayos biotxicológicos con Carpas, utilizando el material de relavera.....	77
<b>Cuadro N° 34:</b> Resultados de los ensayos biotxicológicos con Carpas, utilizando el material de desmontera.....	78
<b>Cuadro N° 35:</b> Resultados de los ensayos biotxicológicos con Carpas, utilizando el material de cancha mineral.....	78
<b>Cuadro N° 36:</b> Resultados de los ensayos biotxicológicos con Carpas, utilizando el material de tajo abierto.....	79
<b>Cuadro N° 37:</b> Resultados de los análisis de agua, correspondientes a la Concentración Letal Media (CL50) de cada material.....	80
<b>Cuadro N° 38:</b> Resultados de la de la evaluación de órganos internos, realizada en las Carpas afectadas, después de los ensayos biotxicológicos .....	81
<b>Cuadro N° 39:</b> Resultados de la evaluación de bioacumulación de metales, después de los ensayos biotxicológicos de 96 horas, con el material de relavera .....	82

# RESUMEN

## EVALUACIÓN BIOTOXICOLÓGICA DE ORGANISMOS DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EXPUESTOS A CONTAMINANTES PROVENIENTES DE COMPONENTES MINEROS POLIMETÁLICOS

**Mag. Miguel Angel Salvá Berenz**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Perú

Asesor: Dr. Néstor Teves Rivas

La presente investigación se realizó con el fin de determinar, la concentración a la que puede estar diluido el material de los componentes mineros polimetálicos, propensos a generar contaminación, sin que se alteren los ecosistemas cercanos, mediante la aplicación de ensayos biotoxicológicos.

Se evaluó la Concentración Letal Media (CL50) en bioensayos de 96 horas, con alevinos de Carpa (*Cyprinus Carpio*), utilizando el material de 4 componentes mineros: relavera, desmontera, cancha de mineral y tajo abierto; determinándose que el componente más perjudicial fue la relavera, por presentar la CL50 más baja (CL50 = 1880 ppm), seguido de la cancha de mineral (CL50 = 3340 ppm), continúa el tajo abierto (CL50 = 5140 ppm) y por último a la desmontera (CL50 = 8080 ppm). Posteriormente se realizó el análisis de agua con las concentraciones mencionadas, encontrándose que la concentración de metales como: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb y Zn está por encima de los valores establecidos por los ECA (Cat. 3), y por los LMP para efluentes de la actividad minero-metalúrgica.

Una vez concluidos los bioensayos, se hizo la evaluación de órganos internos de las Carpas que perecieron con el material de relavera (el más perjudicial), determinándose que los principales órganos afectados fueron las branquias y el hígado, además se bioacumularon metales como: Cd, Cu, Fe, Mn y Zn; esta afectación podría repercutir en la salud del ganado y de los seres humanos que consuman peces en ese estado de contaminación.

# **ABSTRACT**

## **BIOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF ORGANISMS FROM AQUATIC ECOSYSTEMS EXPOSED TO CONTAMINANTS FROM POLYMETALLIC MINING COMPONENTS**

**M.Sc. Miguel Angel Salva**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima – Peru

Advisor: Ph.D. Nestor Teves

This environmental assessment was performed, in order to determinate the concentration where the material of the polymetallic mining components, with tendency to generate pollution can be diluted, without disturbing the nearby ecosystems, through the application of biotoxicological tests.

The Median Lethal Dose (LD50) were evaluated in bioassays of 96 hours with Carp Fishes fingerlings (*Cyprinus Carpio*), using the material of 4 mining components: tailings basin, waste rock dump, ore pad and open pit; determining that the most harmful component was the tailings basin, because of its lowest LD50 (LD50 = 1880 ppm), followed by the ore pad (LD50 = 3340 ppm), the next is the open pit (LD50 = 5140) and the last is the waste rock dump (LD50 = 8080 ppm). The water analysis with the mentioned concentrations, showed that the concentration of metal as: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb and Zn, are above the values established by the Environmental Quality Standards (ECA-Cat. 3) and the Permissible Maximum Limits for effluents in mining and metallurgy (LMP).

Once the bioassays were concluded, the evaluation of internal organs of the killed Carp fishes, caused by the tailings deposit material (the most harmful) were performed, showed that the main organs affected were the gills and the liver, in addition metals were bioaccumulated as: Cd, Cu, Fe, Mn and Zn; this damage could affect the health of cattle and humans that consume fish in this state of contamination.

# **EVALUACIÓN BIOTOXICOLÓGICA DE ORGANISMOS DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EXPUESTOS A CONTAMINANTES PROVENIENTES DE COMPONENTES MINEROS POLIMETÁLICOS**

## **CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN.**

### **1.1 Situación problemática.**

En la actualidad la interacción entre la actividad minera y el medio ambiente está siendo cada vez más vinculante, llegando incluso a generar una infinidad de problemas sociales. Es por esto que las unidades mineras están en una necesidad constante de mejorar e incrementar sus controles ambientales.

Las concentraciones elevadas de contaminantes que pueden generar algunos componentes mineros como relaveras y desmonteras, puede llegar a un cuerpo receptor al ponerse en contacto con el agua o con el viento; cambiando la composición química, haciendo en muchos casos que los parámetros se encuentren por encima de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y los Límite Máximo Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas, este cambio en la composición química del agua, puede llegar a dañar a los organismos que habitan en ella, pudiendo incluso perjudicar a los seres humanos que se alimentan de estos organismos.

Para evitar el daño en los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras y a los pobladores que se encuentran en las zonas aledañas, es necesario conocer cuál es la dilución máxima en la que pueden estar los contaminantes de cada componente minero, sin que se alteren los hábitats.

## **1.2 Formulación del problema.**

De acuerdo con lo anterior, se propone el siguiente problema:

### **1.2.1 Problema general.**

- ¿En qué medida la concentración de los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos que afecta a los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos cercanos puede cuantificarse mediante la aplicación de ensayos biotxicológicos?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

- ¿Cuál es la dilución máxima a la que se encuentran los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos, sin que se altere la salud de los organismos de ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras?
- En el caso que un ecosistema acuático sea afectado. ¿Cómo estos cambios fisicoquímicos generados por contaminantes mineros, pueden afectar la salud de los organismos que habitan el ecosistema?

## **1.3 Justificación teórica.**

Mejorar los controles ambientales en las unidades mineras polimetálicas ajustando los valores propuestos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas, con un análisis que tendrá resultados de mayor relevancia, como es el caso de los ensayos biotxicológicos en organismos que forman parte de los ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras.



La metodología utilizada tendrá un amplio rango de aplicación ya que puede llevarse a cabo en cualquier tipo de yacimiento, ya sea aurífero, no metálico, de tipo skarn, pórfido, disseminado, entre otros; también puede utilizarse en la evaluación de diferentes componentes mineros como relaveras, desmonteras, cancha de mineral, material de tajo, socavones, etc; además, por ser los costos relativamente bajos, se puede aplicar en pequeña, mediana y gran minería.

#### **1.4 Justificación práctica.**

Aplicar definiciones de biotoxicología ambiental como la Concentración Letal Media (CL50) y Concentración Específica Media (CE50) en el material de los componentes mineros polimetálicos; además de realizar una evaluación de los órganos internos de las especies consideradas en este estudio, determinando los posibles daños que tendrían al estar en contacto con contaminantes mineros.

#### **1.5 Objetivos de la investigación**

De acuerdo con lo anterior, se propone el siguiente objetivo:

##### **1.5.1 Objetivo general.**

- Determinar la concentración de los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos que afecta a los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos cercanos, mediante la aplicación de ensayos biotóxicológicos.

##### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Calcular la dilución máxima a la que se encuentran los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos, sin que se altere la salud de los organismos de ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras.

- Diagnosticar en los ecosistemas acuáticos afectados, cómo los cambios fisicoquímicos generados por contaminantes mineros, también afectan la salud de los organismos que habitan el ecosistema.

## **CAPÍTULO 2 : MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 Marco filosófico o epistemológico de la investigación.**

Esta investigación está basada principalmente en la preservación de la vida y los efectos de la contaminación en los ecosistemas. Desde una perspectiva filosófica, puede abordarse desde diferentes modos de conceptualización: objetivismo (Edmund Husserl, 1938), dualidad alma-cuerpo (Platón, 347 A.C.) (Descartes, 1649) (Max Scheler, 1946), vida y ser (Héctor Delfor Mandrioni, 1965), y la fenomenología del conocimiento y la aprehensión (Nicolai Hartmann, 1921) (Ernesto Rubio, 2013).

El concepto de vida o existencia, inseparable del de muerte o inexistencia, y su trascendencia, han sido y son diferentes en los distintos lugares y épocas de la historia de la humanidad. La importancia primordial de la vida para el ser humano influye en el lenguaje, de forma que son numerosos los diferentes usos y expresiones que contienen este término (Ernesto Rubio, 2013).

El objetivismo (Edmund Husserl, 1938): busca la relación entre la vida y los seres humanos, si no se cuestiona la existencia o no de la vida existe una respuesta premetafísica que puede ser favorable tanto para la vida (objetivismo) como para los seres humanos (subjetivismo) (Web del diccionario de filosofía).

Dualidad alma-cuerpo (Platón, 347 A.C.): defiende un claro dualismo antropológico, en el hombre encontramos dos principios opuestos, el cuerpo que nos vincula con la realidad material y pertenece al mundo sensible, y el alma que es inmaterial, divino e inmortal y que nos vincula con el mundo de las ideas. (Web del diccionario de filosofía).

Dualidad alma-cuerpo (Descartes, 1649): Este enfoque llega a ella a partir del ejercicio de la duda metódica y que la expresa con absoluta radicalidad: el cuerpo y la mente son sustancias totalmente distintas, con características, procesos y modelos explicativos distintos.

Dualidad alma-cuerpo (Max Scheller, 1946): no es posible hablar del alma sin referir un concepto de orden superior, el cuerpo propio. En efecto, alma y cuerpo pertenecen al mundo de la corporeidad.

Vida y ser (Héctor Delfor Mandrioni, 1965): entendía que para el hombre, cada hombre, ser, existir era hacerse cargo de sí y a la vez de todo cuanto es y sin lo cual no somos; supo también que así, nada de todo cuanto es, nos es ajeno, y esto significa que nada es sin llegar a nosotros, sin afectarnos, sin tocarnos, antes de que pronunciemos palabra teórica alguna, científica o filosófica, interior o exterior.

Fenomenología del conocimiento y la aprehensión (Nicolai Hartmann, 1921): La situación del hombre como ser en el mundo aboga gnoseológicamente por la afirmación del realismo. Frente a todo idealismo posible, el realismo es la concepción natural del hombre. (Web del diccionario de filosofía).

Del mismo modo debe enfocarse filosóficamente la ecología y la toxicología. Al inicio se entendía por ecología a la ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos con su ambiente (Haeckel, 1886), pero más tarde amplió esta definición al estudio de las características del medio, que también incluye el transporte de materia y energía, y su transformación por las comunidades biológicas (Web de Ecología hoy).

La toxicología se empezó a analizar desde la época en que las puntas de las flechas se preparaban con material contaminado con bacterias, por ejemplo con pedazos de cadáveres o venenos vegetales incluyendo la piel de unos animales, con la intención de acelerar la muerte de los animales (Jiménez, 2009 ; Kuhn, 2009).

A principios del siglo XVI se enunció los principios básicos de la toxicología (Paracelso, 1526) (Web de toxicología-Paracelso):

- La experimentación (animal) es fundamental para conocer cómo se desarrolla la respuesta del organismo frente a la sustancia tóxica.
- Distingue la propiedad terapéutica de la propiedad tóxica de una sustancia.
- Dosis es la propiedad terapéutica de una sustancia tóxica.

En lo que respecta a la filosofía de la contaminación, el hombre históricamente ha pensado y teorizado acerca de los problemas ambientales y sus vínculos con la naturaleza, interrogante que forma parte del pensamiento filosófico (Web de toxicología-Paracelso).

Así, los antecedentes más remotos de esta problemática se encuentran en el devenir histórico del vínculo sociedad – naturaleza; esta relación está íntimamente vinculada a la cuestión fundamental de la filosofía, la de la actividad del sujeto que conoce y actúa ante el objeto que existe fuera de su conciencia. (Jiménez, 2009 ; Kuhn, 2009).

El objeto natural que en la conceptualización metafísica se contrapone al hombre como fuerza ajena y hostil, en la visión materialista del mundo, surge como componente del sistema del ser en todas las etapas de su desarrollo. El hombre moderno, que posee un gran poderío, no puede existir sin las condiciones naturales necesarias, en la misma medida en que no podía existir sin ellas el hombre primitivo, que dependía de la naturaleza (Jiménez, 2009 ; Kuhn, 2009).

Estos mismos postulados filosóficos constituyen el fundamento de las exigencias del desarrollo científico técnico incluidos aquellos elementos materiales de los que depende directamente, y son imposibles de satisfacer fuera del marco del medio natural donde la sociedad y en particular la comunidad desarrolla su actividad de manera que el fundamento material del desarrollo científico – técnico contemporáneo, los ritmos que alcanza hoy y puede alcanzar en el futuro mediato e inmediato, descansan en las posibilidades que pueda brindar el medio natural aún cuando en general no sean las idóneas; por consiguiente la dependencia actual de la sociedad con respecto a la naturaleza, crece con la misma intensidad y sentido que crecen los objetivos que se propone la civilización humana contemporánea (Jiménez, 2009 ; Kuhn, 2009).

José Buenaventura Orfila, médico del célebre Napoleón Bonaparte, inició el estudio sistemático de las intoxicaciones, motivado, no por la búsqueda del antídoto universal, sino por los efectos y el diagnóstico químico y anatomopatológico de las intoxicaciones. El mayor problema para ese tiempo fue la escasa especificidad y sensibilidad de los análisis químicos y en parte, estos se complementaron con pruebas biológicas. De esta forma se inició la toxicología contemporánea en el siglo XIX en su rama forense (Joel Jardim, 1959).

En 1915, en Ypres, en la guerra de trincheras que ocurría en esos tiempos, el alto mando alemán utilizó, por primera vez en la historia un gas de combate, el cloro elemental, el cual, al ser desplazado por el aire y por ser más pesado que él, se movió hacia el lado aliado e hizo salir tosiendo a todos los ocupantes de la trinchera, los que cayeron bajo el fuego de las ametralladoras alemanas. El alto mando alemán no consideró que la dirección del viento cambiaría con el paso de las horas cambiaría hacia ellos mismos, como ocurrió y que el efecto tóxico también se podría ejercer sobre su misma tropa; con este incidente se desarrolló intensamente en el mundo la guerra química y hasta cierto punto la toxicología ambiental (Joel Jardim, 1959).

Si bien, la toxicología del plomo y de otros metales eran conocidas desde la antigüedad, la toxicología en el entorno laboral se empezó a desarrollar con la Revolución Industrial y aún más con la producción acelerada e improvisada de productos químicos a consecuencia de las dos guerras mundiales y las respectivas post-guerras en los países beligerantes; los conceptos principales de esta rama han sido la prevención y la legislación con miras a proteger a la población expuesta. De esta forma aparecieron los conceptos de concentración máxima permisible en el área laboral y la de niveles umbrales, los cuales están sujetos a las legislaciones de diversos países (Manuel Repetto, 1995).

## **2.2 Antecedentes del problema.**

Los estudios anteriores sobre ensayos biotóxicológicos y su aplicación se han llevado a cabo principalmente en el extranjero; en el ámbito nacional no se ha encontrado estudios relacionados a esta tesis doctoral. Los trabajos anteriores realizados fueron los siguientes:

### **2.2.1 Antecedente 1: Moscoso R. (2014); Tesis Doctoral, “Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de planta potabilizadora de El Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos”. Universidad de Cuenca, Ecuador.**

Según Moscoso R. (2014), se sostiene que las concentraciones de aluminio residual obtenido del efluente de planta potabilizadora de El Cebollar el cual es vertido al río Tomebamba, determinando su toxicidad utilizando bioensayos ecotoxicológicos; se determinó las concentraciones de aluminio mediante espectrofotometría ICP y se realizaron los bioensayos con organismos como *Daphnia magna*, *Poecilia reticulada*, *Lactuca sativa*, *Phaseolus vulgaris* y *Zea mays*.

Los resultados concluyeron que hay un grado de alta toxicidad generado por el efluente sobre el río, a pesar de que en época de fuertes precipitaciones, el río tiene una buena capacidad de asimilación del efluente, mientras que en época de bajas precipitaciones, el río pierde esta capacidad y no hay protección sobre los efectos tóxicos generados.

**2.2.2 Antecedente 2: Villamarín S., Chacón M. & Álvarez R. (2013); Artículo Científico, “Pruebas de toxicidad aguda CL50 en peces estuarianos (*Gambusia affinis*) utilizando efluentes industriales a la bahía de Cartagena, Colombia”. Biosalud.**

De acuerdo a las pruebas de toxicidad efectuadas por Villamarín S., Chacón M. y Álvarez R. (2013), con dos efluentes de ALCO Ltda. (el efluente Cospique que descarga desechos industriales y el efluente Casimiro donde se vierten aguas de enfriamiento), para analizar su efecto en los peces estuarianos (*Gambusia affinis*) en un tiempo de 24, 48, 72 y 96 horas de exposición, con sistemas estáticos y sin recambio.

En los análisis estadísticos se realizan regresiones por mínimos cuadrados ordinarios para determinar el tiempo letal medio y las curvas de toxicidad, se hallan los valores de la CL50 con sus límites de confianza bajo el método PROBIT. Con el efluente Cospique los porcentajes (%) y tiempo de exposición que se encontraron CL50 fueron de 15,91; 15,18; 15,18 y 15,12; para 24, 48, 72 y 96 horas de exposición respectivamente. Por tanto, el efluente Cospique es de mayor letalidad, demostrando el efecto inmediato de los mismos.

Para el caso de los efluentes de ALCO Ltda. se encontró que a mayor concentración hay mayor mortalidad y menor tiempo letal medio. Los efluentes industriales estudiados son considerados inestables por la formación de complejos químicos resultado de sus compuestos.

**2.2.3 Antecedente 3: Guerrero N. (2010); Tesis de Maestría, “Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación”. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.**

Guerrero N. (2010) buscó demostrar que para mejorar el desempeño ambiental de las empresas mineras en los procesos de flotación no solo basta cumplir las normas ambientales aplicables que son muy restringidas y no ayudan a prevenir posibles impactos ambientales puesto que no existe una metodología de control de xantatos en efluentes mineros, por lo tanto el motivo de la presente tesis es implementar un método específico que podrá determinar el umbral de contaminación para prevenir, controlar y minimizar los posibles efectos negativos que puede causar la interacción con el medio acuático receptor.

El trabajo muestra las acciones en la determinación cuantitativa de xantatos específicos como xantato Z6 y Z11, en cuanto al estudio en referencia. Los residuos de xantatos se presentan en los efluentes líquidos que ingresan a los ríos, procedentes de los procesos de flotación en forma impredecible, los cuales no eran determinadas en forma cuantitativa puesto que la Normativa Peruana para Recursos Hídricos no lo considera, en tanto que se vio la necesidad de la determinación cuantitativa dado a que puede ayudar a diagnosticar el problema y proponer alternativas de mitigación.

Para cuantificar xantatos, se ha utilizado el método de Espectrofotometría UV-VISIBLE, con previo desarrollo espectral, bajo condiciones muy especiales, los mismos que han permitido la obtención de una curva de calibración con un rango lineal entre 1.00 a 20.00 mg/L de xantato Z6 en NaOH 0.1 N, a la longitud de onda de 300.80 nm.



Para las pruebas de toxicología se utilizó el método de Toxicidad Aguda en bioensayos estáticos a 96 Horas (CL50-96 h) con peces (Pez "Guppy") en cuatro etapas: 24, 48, 72 y 96 horas a fin de obtener la concentración letal media (CL50).

La CL50 para el xantato Z6 es de 1.5 mg/L, en un tiempo de exposición de 96 horas, por lo cual resulta ser tóxico por encima de este nivel. Para tal fin se utilizaron peces con un promedio en peso de 1 g y de longitud estándar de 3 cm. Se observaron los siguientes biomarcadores externos: Nado letárgico en la superficie, hipersecreción mucosa, cambios en la pigmentación de la piel, asfixia, deshilachamiento de las aletas y acumulación de líquido en la cavidad abdominal.

#### **2.2.4 Antecedente 4: Marín L. (2007); Tesis Doctoral, "Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor". Universidad de Murcia, España.**

Marín L. (2007) quiso obtener una visión de la situación actual de la laguna costera del Mar Menor en relación con la contaminación por metales pesados procedentes de actividades mineras mediante el empleo de herramientas ecotoxicológicas. Comienza con el estudio de la entrada de residuos mineros en el ecosistema, su distribución en las aguas de la laguna así como los efectos tóxicos asociados.

Continua valorando la biodisponibilidad de los metales contenidos en los sedimentos lagunares, mediante pruebas de toxicidad y de bioacumulación; sus efectos en praderas de fanerógamas y comunidades de invertebrados asociados, para continuar determinando la potencial transferencia trófica de metales en las redes alimenticias lagunares y su posible biomagnificación.

Finalmente, la Tesis concluye determinando la utilidad de indicadores propuestos para su aplicación en la Directiva Europea Marco del Agua cuando son aplicados a dos ecosistemas acuáticos afectados por contaminación tóxica (metales pesados).

**2.2.5 Antecedente 5: Salva M. (2016); Artículo Científico, “Evaluación biotóxica de daphnias (*D.magma*, *D.pulex* y *D.similis*) utilizando contaminantes provenientes de la actividad minera, Perú”. Riigeo.**

Este estudio tuvo por objetivo la evaluación de organismos de ecosistemas acuáticos como daphnias (pulgas de agua), ante la presencia de contaminantes que provienen de la actividad minera, mediante la aplicación de ensayos biotológicos. Las daphnias se han escogido porque son muy susceptibles a contaminantes y cumplen un papel importantísimo en los ecosistemas acuáticos, debido a que consumen otros organismos más pequeños y sirven de alimento a diversos peces.

Los ensayos biotológicos fueron aplicados para dos casos en particular, en ambos se obtuvo la Concentración Letal Media (CL50) para daphnias en pruebas cortas (96 horas), utilizando para su determinación la curva de análisis Probit. En el primer caso se evaluó a un solo contaminante (solución de cobre de 1000 ppm), encontrándose que la CL50 es de 3,3 µg/L; en el segundo caso se evaluó varios contaminantes (cuerpo receptor), y se encontró que la CL50 es de 59%; es decir, que el 59% es el agua del cuerpo receptor y el 41% corresponde al agua destilada.

## **2.3 Bases teóricas.**

### **2.3.1 Actividad minera.**

El Perú es un país de antigua tradición minera, tradición que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes a nivel internacional, cuenta con un enorme potencial geológico-minero, la presencia de la Cordillera de los Andes a lo largo del territorio, constituye nuestra principal fuente de recursos minerales.

A nivel mundial y latinoamericano el Perú se ubica entre los primeros productores de diversos metales, como oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, molibdeno, telurio, entre otros (Osinergmin, 2016), lo cual es reflejo no sólo de la abundancia de recursos y la capacidad de producción de la actividad minera peruana, sino de la estabilidad de las políticas económicas en nuestro país.

#### **2.3.1.1 Características de la minería polimetálica.**

Las unidades mineras polimetálicas se caracterizan por explotar minerales de cobre, plomo, plata y zinc y pueden ser explotados tanto a tajo abierto como en minería subterránea. Las características de estos metales explotados son las siguientes:

##### **a) Cobre.**

El cobre se obtiene de minerales en forma de sulfuros como Calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), Calcocita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), Covelita ( $\text{CuS}$ ), y minerales oxidados, como la cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), la tenorita ( $\text{CuO}$ ), etc; sus principales usos se dan en tuberías de cobre, sales de cobre, aleaciones de cobre, en la industria de comunicaciones y manufacturera y en los bronce (Cornelis, 1959 ; Cornelius, 1959).

### **b) Plomo.**

El plomo es obtenido de minerales como la Galena ( $\text{PbS}$ ), Cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ), Anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ), entre otros; una parte considerable del plomo producido se dedica a la fabricación de baterías, otra aplicación importante es la fabricación de plomo tetraetílico que se adiciona a las gasolinas de alto octanaje; su gran densidad permite obtener una protección eficaz contra radiación de los rayos alfa y gamma (Cornelis, 1959 ; Cornelius, 1959).

### **c) Zinc.**

El zinc se encuentra en la naturaleza en su mayor parte en forma de sulfuro ( $\text{ZnS}$ ), a veces ( $\text{Zn,Cd}$ )S mineral denominado Esfalerita o Blenda, de color caramelo y Marmatita ( $\text{Zn,Fe}$ )S de color negruzco por la presencia de hierro; este metal puede usarse para recubrir el acero, el producto galvanizado puede ser utilizado en diferentes formas, calaminas para techos, alambres galvanizados para cables, tuberías y conexiones, además el óxido de zinc se utiliza en la industria dental (Cornelis, 1959 ; Cornelius, 1959)

### **d) Plata.**

La plata se encuentra asociada a minerales de plomo y zinc, en yacimientos tipo pórfido, vetas y diseminados; su utilidad se da en componentes electrónicos, en la industria fotográfica, en forma de sales para películas fotosensitivas, en la industria de la refrigeración, en soldaduras y en joyería (Cornelis, 1959 ; Cornelius, 1959).

### 2.3.1.2 Componentes mineros polimetálicos.

Entre los principales componentes mineros polimetálicos propensos a generar contaminación en ecosistemas acuáticos se tienen los siguientes: relaveras, desmonteras, cancha de mineral y tajo abierto.

#### a) Relaveras.

Es el lugar donde se depositan las colas o relaves (Figura N° 1), los cuales son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales en plantas metalúrgicas, además contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados (Web de la S.N. de Minería, Petróleo y Energía).

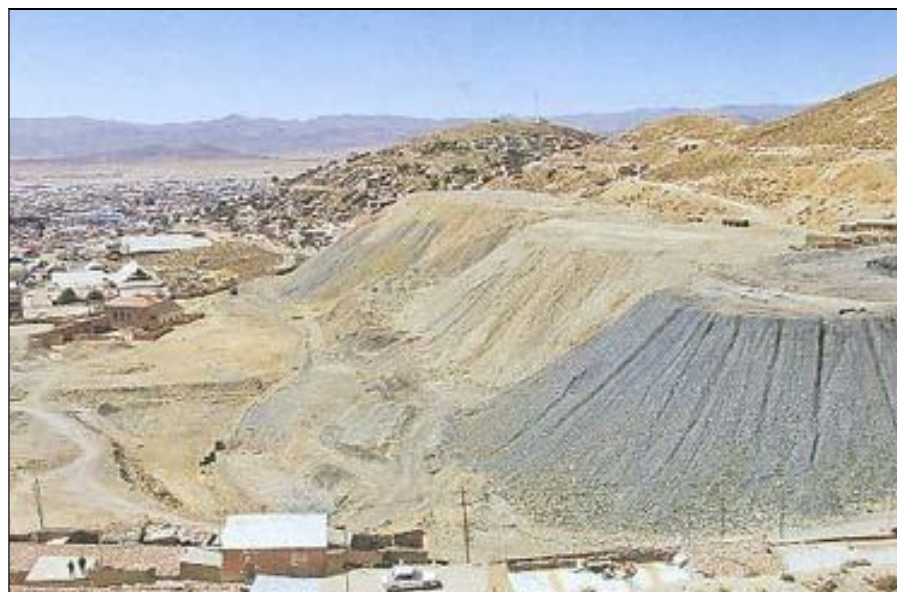


**Figura N° 1:** Relavera con alto contenido de metales e insumos orgánicos usados en las plantas metalúrgicas.

Fuente: Presa de relaves en Sudáfrica. <http://www.mining.com/web/call-to-make-tailings-dams-safer/>

### **b) Desmonteras.**

Es el lugar donde se deposita el desmonte de mina (Figura N° 2), el cual es un material estéril o mineral de baja ley (con una ley de mineral que se encuentra por debajo del nivel económico conocido en minería como “Cut Off” que se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina o que es obtenido como material de desbroce para acceder al mineral (Web de la S.N. de Minería, Petróleo y Energía).



**Figura N° 2:** Desmontera con gran porcentaje de silicatos y sulfuros de hierro.

Fuente: Desmontera en Bolivia. <http://lapatriaenlinea.com/>

### **c) Cancha de mineral.**

Es el espacio físico donde el mineral extraído será depositado antes de ingresarlo a la planta metalúrgica para su procesamiento (Figura N° 3), este mineral almacenado tiene una ley que se encuentra por encima del nivel económico conocido “Cut Off” (Web de la S.N. de Minería, Petróleo y Energía).



**Figura N° 3:** Cancha de mineral con alto porcentaje de minerales de cobre, zinc, plomo y hierro.

Fuente: Cancha de mineral en la sierra del Perú. <http://www.riomosna.com/galeria.html>

#### **d) Tajo abierto.**

Son las operaciones de extracción de mineral que se desarrollan a cielo abierto en la superficie del terreno (Figura N° 4), para la explotación en un tajo abierto es necesario excavar con medios mecánicos o con explosivos los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento; estos materiales son generalmente estériles y es necesario apilarlos en escombreras fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina una vez terminada su explotación. Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en superficie; en el caso que el mineral esté a profundidad, debe realizarse la explotación mediante minería subterránea (Web de la S.N. de Minería, Petróleo y Energía).





**Figura N° 4:** Tajo abierto de un yacimiento de tipo pórfido de cobre.

Fuente: Tajo abierto en Chile. <http://www.nuevamineria.com/>

### **2.3.2 Evaluación Geoquímica.**

La geoquímica estudia el origen, distribución, abundancia y evolución de los elementos químicos en la Tierra, contenidos en los minerales formadores de las rocas y en los productos derivados de ellas, así como en los seres vivos, el agua y la atmósfera (Web del Serv. Geológico de Méjico).

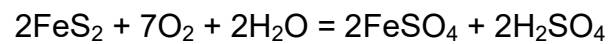
#### **2.3.2.1 Estabilidad Geoquímica.**

Se fundamenta en la teoría y los criterios que determinan la generación de drenaje ácido de roca (DAR), los análisis que se realizan mediante las pruebas estáticas de acidez y basicidad (ABA) y son reflejados en el potencial neto de neutralización (PNN). Si el PNN de un mineral, roca o residuo minero es menor a -20, será un potencial generador de drenaje ácido (DAR); si tal resultado indica un valor de PNN entre -20 y +20, el material analizado se encuentra dentro de la zona llamada de incertidumbre por lo que para definir si sería o no potencial generador de acidez, debería realizarse una prueba cinética, estas pruebas toman tiempos mayores a las de las pruebas estática (hasta un año); si el PNN es mayor a +20, no se consideran potenciales generadores de DAR (Chávez, 2011).



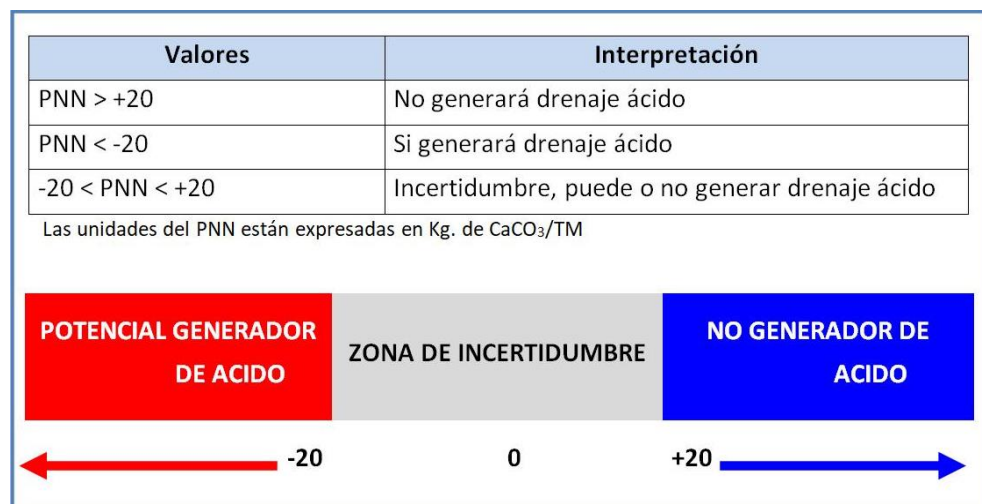
Debe tenerse en cuenta que, para que se genere drenaje ácido (DAR), se requiere que estén en contacto el mineral de sulfuros, oxígeno y agua, si no se encuentran en contacto estos tres elementos, no hay generación de DAR; en este principio se basan los diferentes métodos de prevención de la generación de drenaje ácido (Chávez, 2011).

La reacción principal que muestra la generación de DAR es la siguiente:



### 2.3.2.2 Criterios para determinar la generación de DAR.

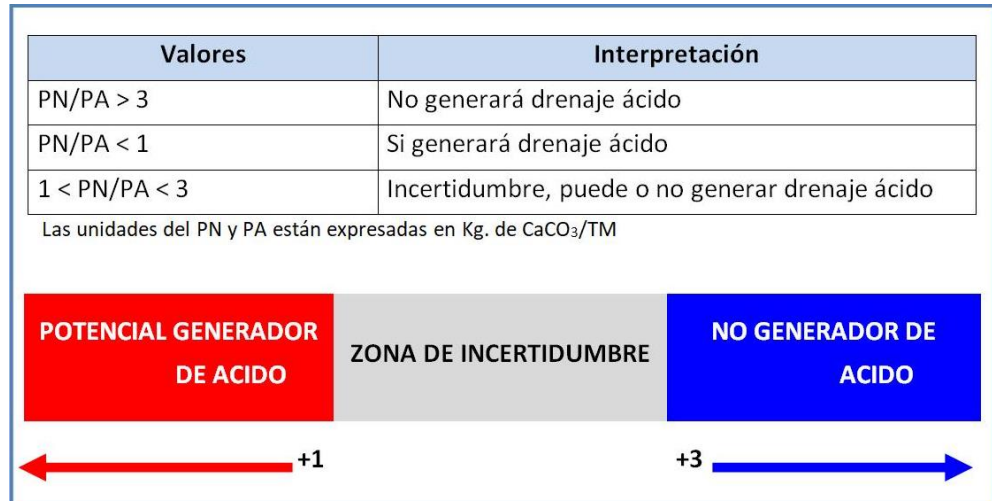
Existen 2 criterios para determinar si un material es generador de drenaje ácido de roca (DAR) o no, el primero de ellos está basado en el potencial neto de neutralización (PNN) y se detalla en la siguiente figura:



**Figura N° 5:** Primer Criterio de Estabilidad Geoquímica, basado en el Potencial Neto de Neutralización (PNN).

Fuente: Elaboración propia.

El segundo criterio está basado en el cociente entre el Potencial de Neutralización (PN) y el Potencial Acidez (PA) y se detalla en la siguiente figura:



**Figura N° 6:** Segundo Criterio de Estabilidad Geoquímica, basado en el Cociente entre el Potencial de Neutralización (PN) y el Potencial de Acidez (PA).

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.3 Ecosistemas.

Un ecosistema es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico; mediante procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, y con su ambiente al desintegrarse y volver a ser parte del ciclo de energía y de nutrientes. Las especies del ecosistema, incluyendo bacterias, hongos, plantas y animales dependen unas de otras. Las relaciones entre las especies y su medio, resultan en el flujo de materia y energía del ecosistema (Web de la biodiversidad de Méjico).

### **2.3.3.1 Características de los ecosistemas acuáticos.**

Los ecosistemas acuáticos son los que se desarrollan en el agua, los cuales pueden ser de dos tipos: marinos, si se presentan en las aguas oceánicas, y dulceacuícolas si pertenecen a las aguas continentales; es decir, las que son de agua dulce y se encuentran dentro de los continentes, como arroyos, ríos, o lagos; aunque existe un tercer tipo denominado salobre que se ubica en la zona intermedia entre los dos anteriores

Como en cualquier otro ecosistema, la vida de los organismos acuáticos depende del intercambio de materia y energía que se presente entre ellos, de los materiales disueltos en el agua y de la temperatura de la misma (Web de biología y geología).

#### **a) Ecosistemas de agua dulce.**

Estos ecosistemas se caracterizan porque el agua que los forma tiene un bajo contenido de sales, es decir, es agua dulce, de ahí que se les llame dulceacuícolas.

Algunos de estos ecosistemas se desarrollan en aguas quietas (ambientes lénticos), como en los lagos o presas, y otros en aguas corrientes (ambientes lóticos), como la de los ríos o arroyos (Web de biología y geología).

#### **b) Ecosistemas marinos.**

Se desarrollan en el mar y en los océanos; se caracterizan por tener una gran cantidad de sales disueltas en el agua. La cantidad de sales en el mar se conoce como salinidad del agua; la salinidad promedio en el agua es de aproximadamente 35 g de sal por litro de agua, pero existen zonas en las cuales la concentración de sales es mayor.

Además de la salinidad, otros factores abióticos que influyen sobre el desarrollo de los organismos marinos son la temperatura del agua y la profundidad. En las capas superiores del mar, la temperatura es más alta que en las inferiores, ya que mientras más profundo sea, menos calor podrán recibir del sol.

Al igual que en la tierra, la vida en el mar depende de los organismos productores, que necesitan la luz del sol como fuente de energía primaria, por tanto, a estos organismos los encontraremos en las capas superiores del mar, donde el agua recibe la luz del sol; de igual manera, los consumidores estarán donde encuentren mayor cantidad de productores para alimentarse de ellos. (Web de biología y geología).

### **c) Ecosistemas salobres.**

Se presentan donde se unen los ríos de agua dulce con el agua del mar, originando las lagunas costeras y los esteros. Estos ecosistemas son muy importantes porque a ellos acuden muchas especies a reproducirse, por ejemplo, los camarones.

En algunas lagunas costeras de la zona norte del Perú, se desarrolla un ecosistema llamado manglar, donde lo más sobresaliente es la presencia de los mangles; las raíces de estos árboles pueden absorber el agua de mar y utilizarla para desarrollar sus funciones (Web de biología y geología).

### **2.3.3.2 Organismos de ecosistemas acuáticos.**

Existe una gran variedad de organismos en los ecosistemas acuáticos; sin embargo en este estudio se trabajará con Carpas (*Cyprinus carpio*).

**a) Carpas (*Cyprinus carpio*).**

Las Carpas pertenecen a la familia de piscardos y Carpas (Cyprinidae), son peces robustos de cuerpo grande, tienen un tamaño entre 35 y 60 cm, un peso que varía entre 1 y 3 kg llegando hasta 18 kg (Figura N° 7). Un rasgo característico de la Carpa lo constituyen los dos pares de barbillas, el par superior es pequeño y apenas perceptible, el par inferior es largo y prominente.

Se conocen diversas formas de Carpas, que se distinguen por sus escamas, o la falta de ellas. La que se encuentra con mayor frecuencia es la Carpa totalmente cubierta de escamas; éstas son bastante grandes y tienen de 33 a 40 a lo largo de la línea lateral.

Aunque son peces apreciados como mascotas también tiene su mala celebridad, porque están catalogados dentro de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo, una lista que divulga la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y que da a conocer aquellas especies cuya existencia perjudica el hábitat y el entorno de otras especies (Web de Nature Gate).



**Figura N° 7:** Carpas (*Cyprinus carpio*).

Fuente: Pixabay. Carpas. <https://pixabay.com/es/carpa-peces-koi-estanque-asia-217229/>

La Carpa es el pez cultivado más antiguo del mundo, se sabe que fue cultivado en China hace más de 2000 años; el arte del cultivo de Carpas fue popularizado en Europa por los romanos; de los estanques de cultivo (Figura N° 8), la Carpa se ha propagado ampliamente a aguas naturales.

Las crías suelen nacer a los tres días, son pequeñas Carpas de entre 6 y 8 milímetros, tanto los pequeños como los adultos se alimentan de plantas acuáticas. Para construir un acuario o un criadero hay que ocuparse de reproducir fielmente su hábitat y en el caso de acuarios, mantener una colonia pequeña, no más de 5 Carpas viven en armonía y comodidad en una pecera que no requerirá muchos cuidados. Hay que tener en consideración la temperatura en que se encuentra el agua y siempre hay que controlar que el hábitat esté en óptimas condiciones de higiene, así como que los peces tengan lo que necesitan para seguir subsistiendo (Web de Mascot house).



**Figura N° 8:** Criadero de Carpas.

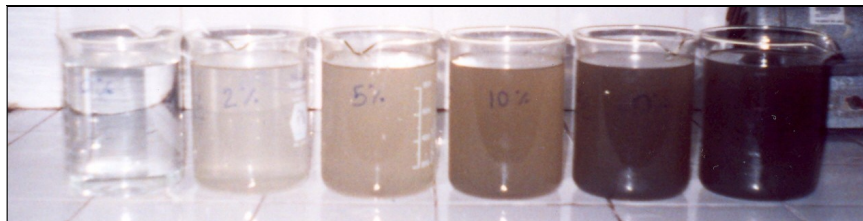
Fuente: Centro Acuícola y Agroindustrial Gaira-Colombia.

<http://centrogaira.blogspot.pe/2013/10/aprendices-sena-desarrollan-proyecto-de.html>

### 2.3.4 Ensayos biotxicológicos.

En la evaluación de la contaminación del agua, los estudios biotxicológicos son necesarios, debido a que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los potenciales efectos sobre la vida acuática (Figura N° 9). No se puede determinar por ejemplo la interacción de los efectos tóxicos de las materias complejas.

Las diferentes clases de organismos acuáticos no son igualmente susceptibles a las mismas sustancias tóxicas, ni su susceptibilidad es igual a lo largo de su ciclo vital; además la exposición previa a los tóxicos puede alterar este nivel de susceptibilidad. A continuación se muestra un ejemplo de ensayo biotxicológico (Castillo, 2004).



**Figura N° 9:** Ejemplo de un ensayo biotxicológico, utilizando agua de un río con alta turbidez.

Fuente: Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

#### 2.3.4.1 Propósito de los ensayos biotxicológicos.

Las pruebas biotxicológicas son útiles para numerosos propósitos en los que se incluyen los siguientes:

- Adaptación de las condiciones ambientales a la vida acuática
- Factores favorables y desfavorables del ambiente como pH, salinidad, turbidez, demanda de oxígeno o temperatura
- Efectos de los factores ambientales sobre la toxicidad de los residuos.
- Toxicidad de los desechos sobre una determinada especie.

- Sensibilidad de los organismos acuáticos ante emanaciones o agentes tóxicos
- Magnitud que debe tener el tratamiento de los desechos para cumplir con los requerimientos de control de contaminación de agua.
- Efectividad de los métodos de tratamientos de desecho.
- Tasa de descarga de vertidos permitida
- Concordancia entre las normas de calidad de agua, los condicionamientos a los vertidos y los permitidos de descarga (Castillo, 2004).

#### **2.3.4.2 Requisitos básicos para los ensayos biotoxicológicos.**

Los requisitos básicos y las condiciones para las pruebas biotoxicológicas para organismos de una sola línea genética son:

- Un aporte abundante de agua de la calidad deseada.
- Un adecuado y efectivo sistema de corriente de agua construido con materiales que no contaminen ni absorban.
- Un espacio idóneo con un equipo de mantenimiento, cultivo y pruebas bien planeado y accesible.
- Una adecuada fuente de organismos de experimentación sanos y si es posible jóvenes; se dispone de abundante y valiosa información para la planificación y construcción de sistemas de suministros de agua (Castillo, 2004).

#### **2.3.4.3 Parámetros obtenidos en los ensayos biotoxicológicos.**

Los principales parámetros obtenidos en estas pruebas son: la Concentración Letal Media (CL50) y la Concentración Específica Media (CE50).



### a) Concentración Letal Media (CL50).

La Concentración Letal Media (CL50), se define como la concentración del agua en estudio que es capaz de matar a la mitad de los organismos evaluados en un tiempo determinado, (generalmente 96 horas, para pruebas cortas); es importante mencionar, que en estos ensayos la mayor proporción de los peces evaluados mueren antes de las 24 horas (Castillo, 2004). Si en un ecosistema se observa a la mayoría de peces muertos, se debe considerar la evaluación de este parámetro (Figura N° 10).

Este criterio se diferencia del de la Concentración Máxima del Contaminante (CMC), la cual se define como la concentración que no ocasiona ningún efecto adverso detectable sobre la salud de los organismos evaluados. (Metcalf & Eddy, INC-1995)

La relación entre estos dos parámetros es la siguiente:

$$\underline{CMC \leq 0,3 \times ( 100 \div CL50 )}$$

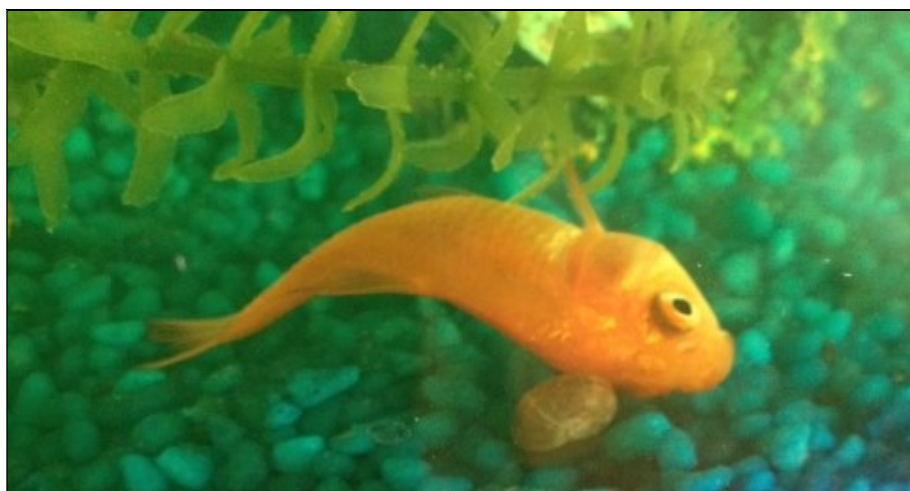


**Figura N° 10:** Ecosistema acuático contaminado, donde debería calcularse la CL50, utilizando como organismos a las especies afectadas.

Fuente: Cooking Ideas. <http://www.cookingideas.es/toxic-tours-20121021.html>

## **b) Concentración Específica Media (CE50).**

La Concentración Específica Media (CE50), se define como la concentración del agua en estudio que es capaz de producir, en la mitad de los organismos evaluados, una respuesta específica en un tiempo determinado (generalmente 96 horas, para pruebas cortas), ya sea alteraciones en la frecuencia respiratoria, pérdida del equilibrio (Figura N° 11), entre otras (Castillo, 2004).



**Figura N° 11:** Ecosistema acuático contaminado, donde debería calcularse la CE50, utilizando como organismo a la especie afectada.

Fuente: Acuario Paradise Tropical Fish. <http://paradisetropicalfish.com.sv/>

### **2.3.4.4 Tipos de pruebas biotxicológicas.**

Las pruebas biotxicológicas se clasifican de acuerdo a lo siguiente:

- Duración corta, intermedia o larga, o ambas.
- Forma de añadir las soluciones: estática, recirculación, renovación o flujo.
- Propósito: controlar la calidad del vertido, estudio de compuesto único, toxicidad relativa, sensibilidad relativa, etc (Castillo, 2004).

Se deben usar pruebas de corta duración para control de rutina de los requisitos de la descarga permitida de vertidos y para pruebas exploratorias. Las pruebas cortas definitivas duran 96 horas y determinan la CL50 o la CE50. Estas pruebas también determinan la concentración de tóxico a usar en las de intermedia y larga duración.

Las pruebas de corta duración ayudan a poder tener una rápida estimación de la toxicidad, para ensayar la toxicidad relativa de distintos tóxicos o residuos para un organismo determinado o la sensibilidad relativa de los organismos a las diferentes condiciones de variables tales como temperatura y pH (Castillo, 2004)

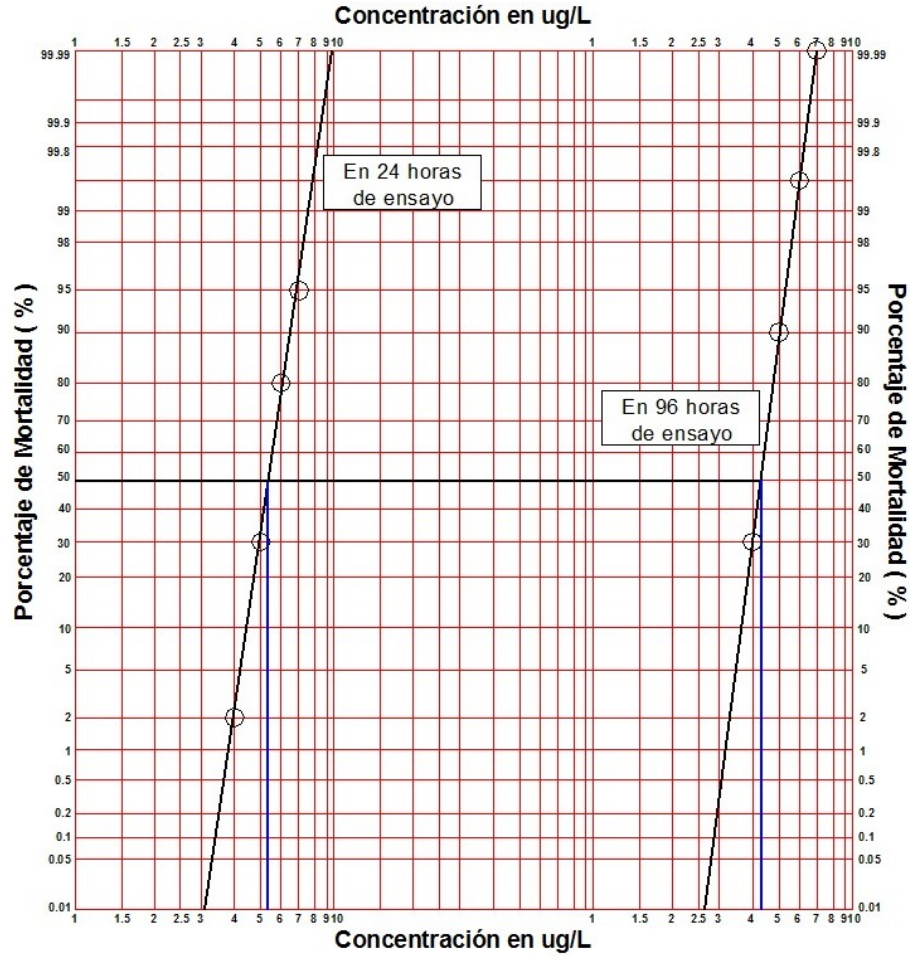
#### **2.3.4.5 Métodos gráficos usados en las pruebas biotxicológicas.**

Los métodos gráficos tales como las Curvas de Análisis Probit y las Curvas de Toxicidad, son la manera de expresar los resultados de las pruebas biotxicológicas (se utiliza papel logarítmico).

##### **a) Curvas de análisis Probit.**

Estas curvas son utilizadas para determinar la CL50 o CE50. En el eje "X" se coloca la concentración de los metales, efluentes o cuerpos receptores y en el eje "Y" se coloca el porcentaje de los organismos que van muriendo o mostrando una conducta específica (según se busque la CL50 o CE50), en un tiempo determinado (Castillo, 2004).

Se plotean los datos y se traza una línea. La concentración que coincide con el 50% es la CL50 o CE50 (según lo que se esté evaluando), como se muestra en la siguiente figura.

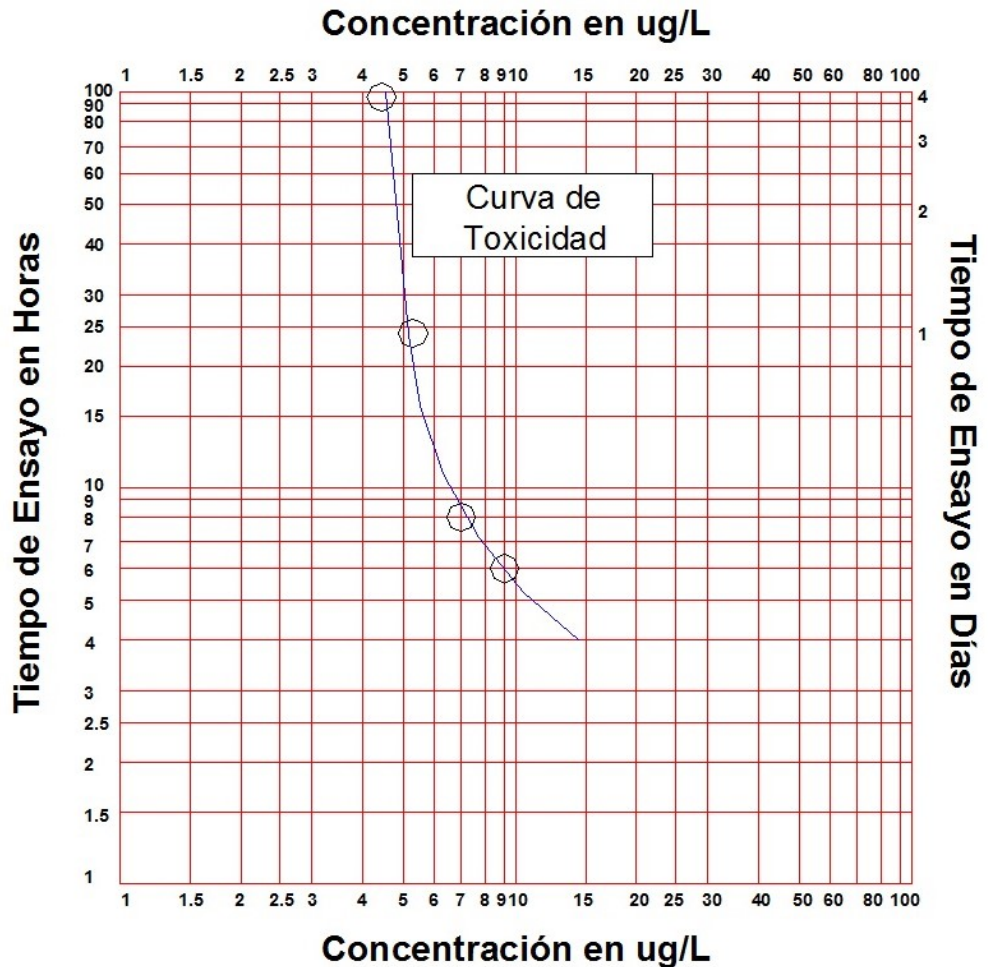


**Figura N° 12:** Ejemplo de curvas de análisis Probit, para 24 y 96 horas de ensayo respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

**b) Curvas de toxicidad.**

Estas curvas son utilizadas para analizar la variación de la CL50 o CE50. En el eje “X” se coloca la concentración de metales, efluentes o cuerpos receptores y en el eje “Y” se coloca el tiempo en el que se alcanza la CL50 o CE50 (según lo que se evalúe). Por ejemplo la CL50 de un efluente concentrado a un 4% se consiguió en 10 días de ensayo y concentrado al 8% se consiguió en 6 días de ensayo. Se plotean los datos para diferentes concentraciones y se traza la curva en un papel logarítmico (Castillo, 2004), como se tiene en la siguiente figura.



**Figura N° 13:** Ejemplo de curvas de toxicidad, en el lado izquierdo el tiempo en horas y en el derecho en días.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.5 Pruebas de mortandad en peces.

Estas pruebas se llevarán a cabo mediante las evaluaciones de órganos internos y de bioacumulación de metales. La primera de ellas consiste en el estudio de todo lo relacionado con los tejidos orgánicos de los peces como su estructura microscópica, su desarrollo y sus funciones. Mediante estas pruebas se puede identificar el efecto que han tenido los contaminantes mineros en el organismo de las especies en estudio, además de pruebas de bioacumulación de metales (Web del S. de información científica Redalyc).



La evaluación de órganos internos en peces (Figura N° 14) representa una herramienta importante sensible y específica mediante la cual se pueden apreciar alteraciones internas; algunos órganos también podrían ser muy susceptibles a cambios inducidos por factores abióticos como la temperatura, presión, contaminantes, entre otros (Web del S. de información científica Redalyc).

Entre los órganos directamente expuestos a contaminantes en el agua y los más susceptibles a las variaciones ambientales se tienen a las branquias, por su función de captar el oxígeno disuelto del agua y convertirlo en  $\text{CO}_2$ , y al hígado, debido a que tiene gran importancia en los procesos de desintoxicación



**Figura N° 14:** Evaluación de órganos internos en peces.

Fuente: MEDITS\_ES05. <https://cobmedits2011.wordpress.com/author/>

La prueba de bioacumulación de metales consiste en la evaluación de los peces que han sido y que no han sido expuestos a los contaminantes, disolviéndolos en su totalidad con ácido nítrico y logrando una solución uniforme; mediante esta prueba se calcula la cantidad de metales que han absorbido los peces después de estar en contacto con los contaminantes en un tiempo determinado. Existen dos tipos de obtención de los resultados mediante ICP-Óptico e ICP-Masa, el primero se utiliza cuando se presume una alta concentración de metales alcalinos.

Aunque algunos de los elementos del grupo de los metales son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales, muchos metales pesados tienen la capacidad de provocar alteraciones en el desarrollo de las especies, debido a sus efectos en el organismo a largo plazo. (Web del S. de información científica Redalyc).

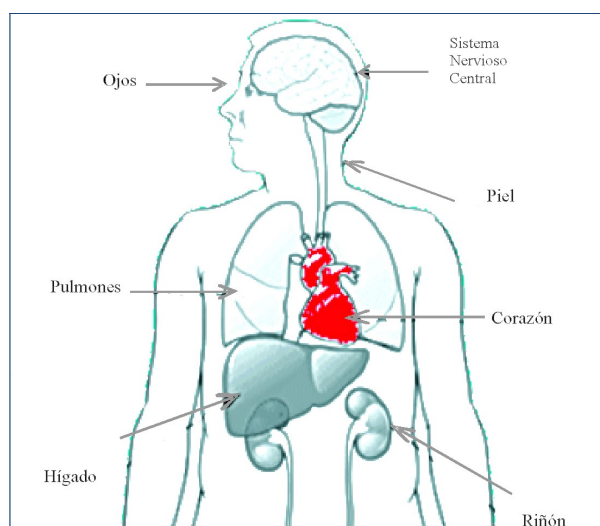
Los metales pesados como el cobre, zinc, plomo, cadmio, arsénico, mercurio, hierro, cromo, entre otros, son devastadores contaminantes ya que contaminan el aire, el agua y la tierra utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas. Algunos de sus efectos son de tipo genotóxico, es decir que producen mutaciones en el ADN y desmielinizante, por lo que afecta al sistema nervioso central.

En general los sustratos contaminados suelen ser producto del trabajo minero, la contaminación, la industria de fundición y chapado, el depósito de origen atmosférico por la acción de incineradoras, tubos de escape de vehículos y el uso de fertilizantes y pesticidas, así como el depósito de lodos y barros residuales en los cauces de los ríos. Dichos sustratos pueden ser contaminados por los vegetales que consumimos y, en el caso de los peces, acaban incorporándose directamente a su cadena trófica.

En relación con la absorción y la distribución, los compuestos organometálicos se benefician de una mejor difusión por lo que se absorben bien por vía digestiva e incluso pueden absorberse por vía cutánea. Si la absorción es lenta, la excreción lo es más aún, de manera que tienden a acumularse en el organismo. .

En el caso de animales superiores, la sangre, orina y pelo son las muestras biológicas más empleadas para medir una exposición o dosis. Las dos primeras para determinar una exposición reciente y la última para determinar una exposición anterior y su evolución a lo largo del tiempo.

De igual forma el consumo de peces y animales superiores alimentados con estos peces, puede perjudicar también a los seres humanos, afectando órganos y tejidos (Figura N° 15) como la piel, hígado, riñones, corazón, el sistema nervioso central, entre otros (Web del S. de información científica Redalyc).



**Figura N° 15:** Posibles órganos afectados en los seres humanos por el consumo de alimentos contaminados.

Fuente: Libros Clínicos de Autores Cubanos. <http://gsdl.bvs.sld.cu/cgi-bin/library>

## **CAPÍTULO 3 : METODOLOGÍA.**

### **3.1 Tipo y diseño de investigación.**

La investigación es experimental, debido a que analiza el efecto de los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos, sobre los organismos de los ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras.



Presenta un diseño experimental verdadero, ya que se requiere un máximo control de las variables interdependientes, en este caso el material de los componentes mineros polimetálicos, para determinar valores específicos como la Concentración Letal Media (CL50) para los organismos que habitan en los ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras.

### **3.2 Unidad de análisis.**

Material de los componentes mineros polimetálicos.

### **3.3 Población de estudio.**

El material de componentes mineros polimetálicos propensos a generar contaminación y los organismos de los ecosistemas acuáticos cercanos a estas unidades mineras.

### **3.4 Tamaño de muestra.**

Será evaluada una unidad minera polimetálica de gran minería, ubicada en la cuenca del río Yauli, en el departamento de Junín, la cual tiene como minerales económicos a compuestos sulfurosos de cobre, plomo y zinc, en esta unidad minera se tomarán muestras del material de los componentes más propensos a generar contaminación; además, se utilizará una especie de organismo de ecosistemas acuáticos, a los cuales se les realizarán los ensayos biotóxicológicos.

### **3.5 Selección de muestra.**

El material para realizar los ensayos biotóxicológicos será extraído de 4 componentes de la unidad minera polimetálica mencionada, los cuales son propensos a generar contaminación. Estos componentes son: relavera, desmontera, cancha de mineral y tajo abierto.

Los organismos escogidos para realizar los ensayos biotxicológicos son alevinos de Carpa (*Cyprinus carpio*), debido a su comportamiento ante este tipo de estudios y a que se adaptan fácilmente a las condiciones ambientales del lugar donde se realizan los ensayos y además porque alcanzan tamaños parecidos a los peces de los ecosistemas cercanos, como es el caso de las Truchas (*Salmo trutta*).

### 3.6 Técnicas de recolección de datos.

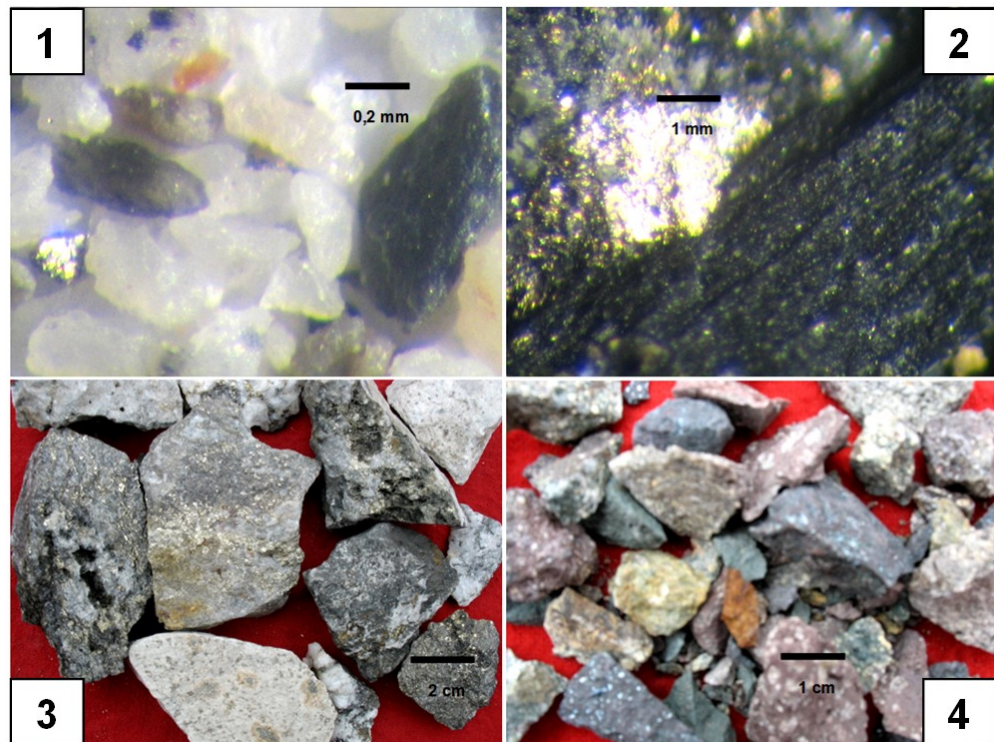
Los datos obtenidos en este estudio dependerán de 5 evaluaciones: geoquímica, biotxicológica, calidad de agua, órganos internos y bioacumulación de metales, tal y como se muestra en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 1:** Evaluaciones, procedimientos y resultados que se obtendrán en el estudio.

Evaluación	Procedimiento	Resultados
Geoquímica	Se llevará a laboratorio el material de los 4 componentes mineros se determinará el potencial de neutralización (PN) y de acidez (PA), la mineralogía y el porcentaje metales	Posibilidad de generación de DAR Composición mineralógica Composición química (metales)
Biotoxicológica	Se realizaran ensayos biotxicológicos de 96 horas (pruebas cortas) con alevinos de Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> ), con el material de 4 componentes mineros	Concentración Letal Media (CL50) para cada material, mediante las curvas de análisis Probit
Calidad de Agua	Se llevará a laboratorio los lixiviados de las muestras de los 4 componentes mineros, cuyas concentraciones son las mismas donde se obtuvo las CL50 y se evaluarán 9 metales tóxicos Cu, Zn, Pb, Cd, As, Hg, Fe, Cr y Mn	Comparación de la concentración de metales del agua donde se obtuvieron las CL50 para cada componente y los valores de las normativas nacionales (ECA y LMP)
Órganos Internos	Se observará los órganos 2 peces contaminados por material mina y 2 que no estuvieron expuestos al material, mediante visión microscópica y estereoscópica	Comparación de los órganos de los peces afectados por el material de mina, con los órganos de aquellos que no estuvieron expuestos a los contaminantes
Bioacumulación de Metales	Se evaluará el organismo completo de los peces que estuvieron y que no estuvieron expuestos al material, mediante una prueba de laboratorio denominada ICP-Óptico	Comparación de la cantidad de metales presentes en los peces que estuvieron afectados por el material de mina, con los que no tuvieron contacto con los contaminantes

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica, Informe de Laboratorio de Ensayos Biotxicológicos, Informe de Laboratorio de Evaluación de Agua , Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos e Informe de Laboratorio de Bioacumulación de Metales.

En lo que respecta a la evaluación geoquímica, de cada componente será tomada una muestra compósito de 15 kg aproximadamente; una vez obtenidas las muestras, serán llevadas a un laboratorio de geoquímica en la ciudad de Lima. En los análisis se determinará el Potencial Neto de Neutralización (PNN) y se realizará la caracterización química y mineralógica (Figura N° 16).



**Figura N° 16:** Muestras para la evaluación geoquímica de los 4 componentes, 1 relavera, 2 desmontera, 3 cancha de mineral y 4 tajo abierto.

Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica. Laboratorio de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El restante de la muestra (10 kg aproximadamente) será pulverizada hasta un tamaño menor al de la Malla 100 (0,149 mm de abertura); es decir, a un tamaño de limos y arcillas (Figura N° 17), para realizar los ensayos biotxicológicos.



**Figura N° 17:** Muestras pulverizadas de los 4 componentes mineros, para realización de los ensayos biotóxicológicos.

Fuente: Fotografía propia. Laboratorio de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las Carpas provenientes de una sola línea genética, que serán utilizadas en los ensayos biotóxicológicos, se recolectarán de los criaderos de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Federico Villarreal y serán colocadas en recipientes especiales para su cuidado; es importante mencionar que los bioensayos con Carpas se llevaran a cabo en alevinos (Carpas recién nacidas) con un promedio de 3 cm. de longitud (Figura N° 18).



**Figura N° 18:** Alevinos de Carpas que serán utilizados en los bioensayos.

Fuente: Fotografías propias. Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Los bioensayos definitivos durarán 96 horas y serán realizados con 10 litros de agua desclorada, en acuarios de vidrio de 36 litros de capacidad (Figura N° 19), en estos acuarios se colocarán las muestras de los 4 componentes mineros en diferentes concentraciones. Los ensayos serán divididos en dos etapas, la primera es referencial y se determinará en que rango se encuentra la Concentración Letal Media (CL50) para las Carpas; mientras que la segunda etapa es definitiva y se determinara la Concentración Letal Media (CL50) de una manera precisa.

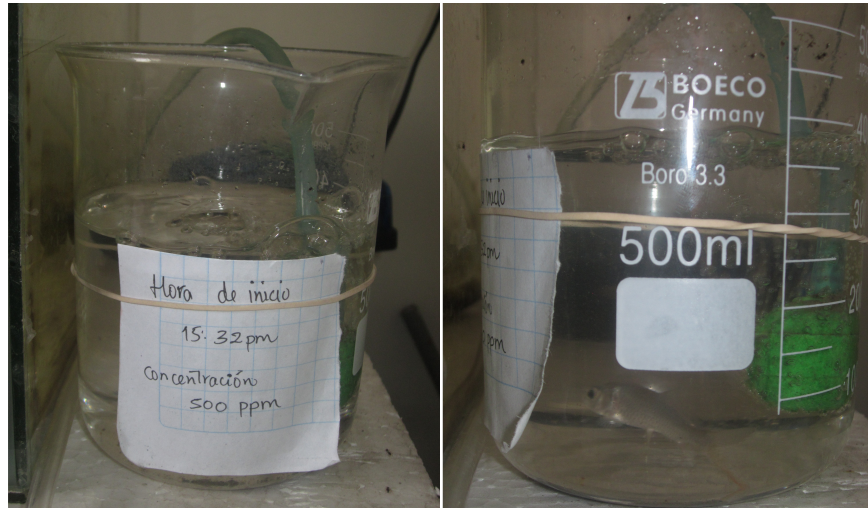


**Figura N° 19:** Acuarios de vidrio de 36 litros de capacidad, que serán utilizadas en los bioensayos.

Fuente: Fotografía propia. Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

En la primera etapa referencial se trabajará en vasos de precipitado de 500 ml y se utilizará únicamente 1 Carpa; se colocará una concentración tentativa (por ejemplo 500 ppm) y se observará el comportamiento de la Carpa (Figura N° 20). Si el pez muere antes de las 24 horas, las concentraciones en la segunda etapa serán menores; pero si el pez continúa vivo después de las 24 horas, las concentraciones de la segunda etapa variarán alrededor de la concentración utilizada.



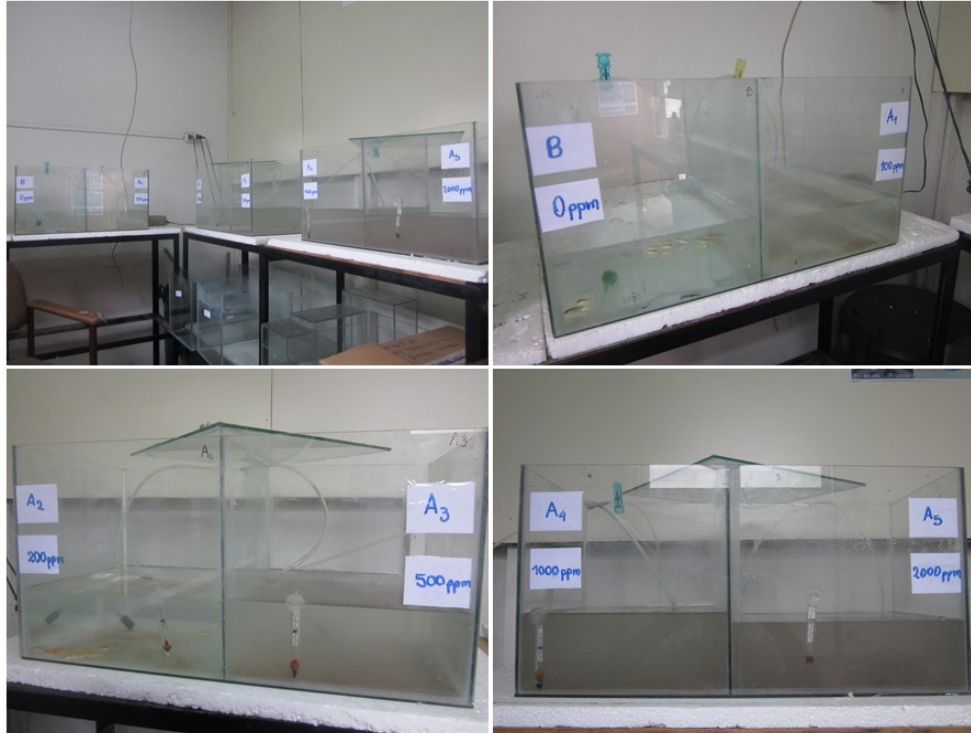


**Figura N° 20:** Ensayos biotxicológico en la primera etapa referencial con el material de relavera en 24 horas.

Fuente: Fotografías propias. Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

En la segunda etapa definitiva se trabajarán los bioensayos en 6 acuarios y se colocará 10 peces en cada uno de ellos; durante esta etapa se evaluará también el pH, la temperatura y la dureza del agua; como prueba de control, uno de los acuarios será usado como blanco o control en cada prueba.

De acuerdo a los resultados de la primera etapa referencial, serán planteadas las concentraciones con las que se realizarán los bioensayos, por ejemplo, si se utilizó una concentración tentativa de 100 ppm y el pez continúa vivo después de las 24 horas, las concentraciones de material de mina a utilizar que se tendría en los bioensayos serían de 0 (blanco), 50, 100, 200, 500 y 1000 ppm, como es en el caso del material de relavera (Figura N° 21), el cual resultó ser, el material más perjudicial para las Carpas, por presentar la Concentración Letal Media (CL50) más baja.



**Figura N° 21:** Ensayos biotóxicológico con el material de relavera en 96 horas con concentraciones de 0 (B), 100, 200, 500, 1000 y 2000 ppm.

Fuente: Fotografías propias. Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Después de las 96 horas de ensayo, se observará en cada recipiente la cantidad de organismos que murieron (Figura N° 22); si se diera el caso, que después de las 96 horas de ensayos, en ninguno de los acuarios murieran 5 o más organismos; se tendría que repetir la prueba; debido que para que haya precisión en el cálculo de la Concentración Letal Media (CL50), es necesario que los datos sean interpolados y no extrapolados.



**Figura N° 22:** Peces después de los bioensayos de 96 horas, al lado izquierdo el pez continúa vivo y al lado derecho el pez ha perecido.

Fuente: Fotografías propias. Laboratorio de Biotoxicología de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Es importante mencionar que este procedimiento se debe realizar de manera independiente para los cuatro materiales de mina, como es el caso de la relavera, desmontera, cancha de mineral y tajo abierto.

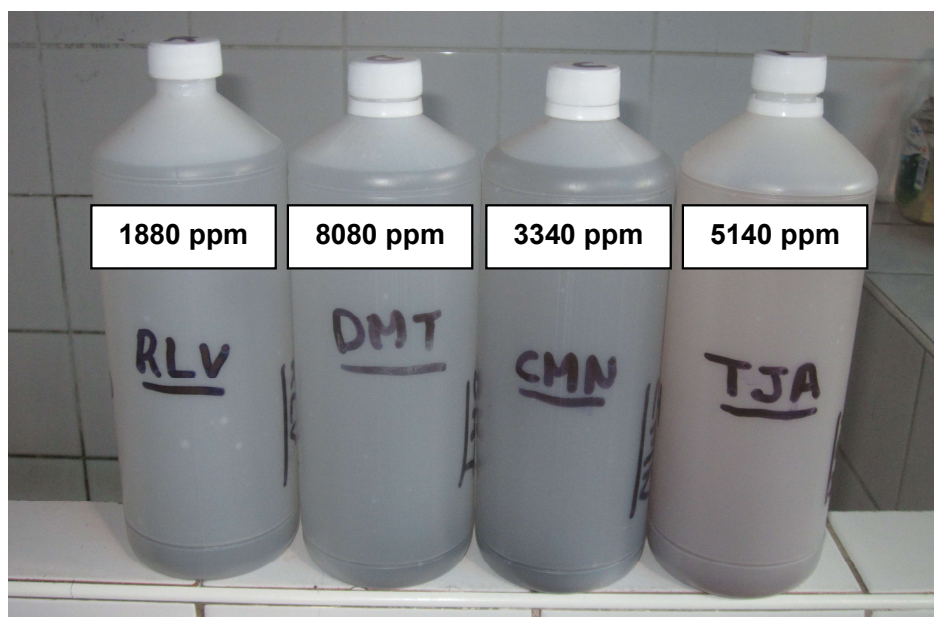
Una vez concluido los bioensayos con Carpas se efectuarán las pruebas de mortandad en peces, mediante las evaluaciones de órganos internos y de bioacumulación de metales. Estas pruebas serán realizadas únicamente en los peces que estuvieron en los recipientes donde se consiguió la Concentración Letal Media (CL50) del material de mina que fue más perjudicial, es decir en el material que tuvo la menor Concentración Letal Media (CL50) de los cuatro materiales utilizados en los bioensayos.

### **3.7 Análisis e interpretación de la información.**

Una vez realizados los bioensayos con Carpas se determinará la Concentración Letal Media (CL50) para el material de cada componente minero polimetálico en estudio; para esto se plotearán en un papel logarítmico los resultados obtenidos en estos ensayos y se realizarán las curvas de análisis Probit.



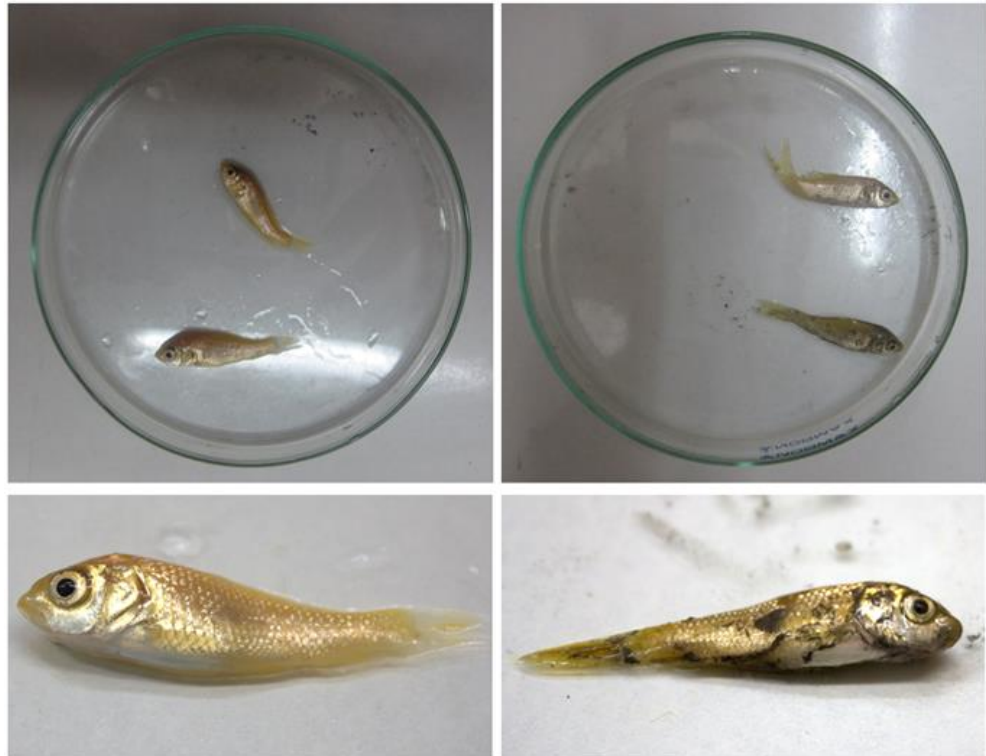
Posterior a la obtención de la Concentración Letal Media (CL50) para cada material, se evaluará en el agua de los recipientes donde se alcanzaron las (CL50), los parámetros fisicoquímicos y la composición química (Figura N° 23), a fin de comparar estos valores con los establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas.



**Figura N° 23:** Muestras de agua de los 4 componentes mineros evaluados, con las Concentraciones Letales Medias (CL50) respectivas.

Fuente: Fotografía propia. Laboratorio de Espectrometría de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las pruebas de mortandad en peces nos ayudarán a identificar los cambios que han sufrido los órganos internos de los peces que han muerto al estar en contacto con el material del componente minero polimetálico más perjudicial (Figura N° 24), así como también a determinar la cantidad de metales bioacumulados en los peces después de estar en contacto con dicho material. Los resultados obtenidos en los bioensayos con alevinos de Carpa, pueden ser extrapolados a los organismos adultos, los cuales a su vez podrían ser consumidos por los seres humanos.



**Figura N° 24:** Peces recolectados para la evaluación de órganos internos, al lado izquierdo los peces están sanos y al lado derecho los peces están afectados por el material de relavera.

Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos, Laboratorio de Genética de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

## **CAPÍTULO 4 : RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **4.1 Análisis, interpretación y discusión de los resultados.**

#### **4.1.1 Interpretación de la evaluación geoquímica.**

A partir de los resultados de geoquímica se puede determinar que la muestra que presenta mayor concentración de metales, especialmente en zinc y hierro, es el de cancha de mineral, se puede observar también que los minerales más abundantes del material de este componente son el cuarzo, pirita y esfalerita.

El material de este componente también es el que presenta la mayor concentración de minerales metálicos económicos, esto es debido a que es el material que tiene mayor ley y es el que va a ingresar a la planta metalúrgica para su respectivo tratamiento y purificación. Los materiales de los otros componentes tienen mayor concentración de minerales ganga, como es el caso de silicatos, minerales de hierro, entre otros.

**Cuadro N° 2:** Interpretación de la evaluación geoquímica.

<b>Característica</b>	<b>Relavera</b>	<b>Desmontera</b>	<b>Cancha de Mineral</b>	<b>Tajo Abierto</b>
Predominancia	Sulfuros	Sulfuros	Silicatos con Sulfuros	Escasos Carbonatos
PN / PA	1,1	0,7	0,003	11
PNN	11,68	-14,69	-462,81	12,5
Generación de DAR	<b>Incierto</b>	<b>Generador</b>	<b>Generador</b>	<b>No Generador</b>

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica.

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

En lo que respecta a la generación de drenaje ácido, se determinó que los materiales de cancha de mineral y desmontera son generadores de drenaje ácido; el material de relavera se encuentra en un rango incierto, lo cual quiere decir que no se puede determinar si con el tiempo podría generar drenaje ácido, mientras que el material de tajo abierto es considerado como no generador de drenaje ácido.

El material de relavera se encuentra en un rango incierto, tomando en cuenta los criterios del Potencial Neto de Neutralización ( $-20 < PNN < +20$ ) y del cociente entre el Potencial de Neutralización y el Potencial de Acidez ( $1 < PN/PA < 3$ ). Los materiales de desmontera y tajo abierto son considerados en primera instancia en un rango incierto, por el criterio del PNN; sin embargo, tomando en cuenta el criterio del cociente entre PN y PA, el material de desmontera es considerado como generador, y el material de tajo abierto considerado como no generador de drenaje ácido.

#### 4.1.2 Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios.

Los resultados de la evaluación geoquímica realizada en esta Tesis fueron comparados con los resultados de 2 estudios mineros, el primero corresponde a la Actualización de Plan de cierre de la Unidad Minera Cerro de Pasco (Chávez, 2012), en el cual también se evaluó los 4 componentes mineros, y el segundo corresponde a la Actualización de Plan de Cierre de la Unidad Minera Cobriza (Chávez, 2013), en el cual se evaluó relaveras y desmonteras. La comparación de los resultados obtenidos se muestra en los siguientes cuadros:

**Cuadro N° 3:** Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de relavera.

Parámetro	COMPONENTE: RELAVERA		
	Muestra Tesis (RLV) Salvá M. (2017)	Minera Cerro de Pasco (2012) Relavera Ocroyoc (OCF-2)	Minera Cobriza (2013) Relavera Chacapampa (DRCH)
pH en Pasta	7	6,2	7,9
% S	2,94	20,35	12,26
PN	103,75	1,25	75
PA	91,87	635,94	383,13
PNN	11,68	-634,69	-308,13
PN / PA	1,1	0,002	0,2

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica, Actualización de P.C.M. de la U.M. Cerro de Pasco (Chávez, 2012) y Actualización de P.C.M. de la U.M. Cobriza (Chávez, 2013).

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

**Cuadro N° 4:** Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de desmontera.

Parámetro	COMPONENTE: DESMONTERA		
	Muestra Tesis (DMT) Salvá M. (2017)	Minera Cerro de Pasco (2012) Desmontera Miraflores (MRF-1)	Minera Cobriza (2013) Desmontera Cobriza (DMCB-1)
pH en Pasta	6,9	6,5	4,5
% S	1,49	21,7	3,37
PN	31,87	2,5	-0,5
PA	46,56	678,12	105,31
PNN	-14,69	-675,62	-105,81
PN / PA	0,7	0,004	0

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica, Actualización de P.C.M. de la U.M. Cerro de Pasco (Chávez, 2012) y Actualización de P.C.M. de la U.M. Cobriza (Chávez, 2013).

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

**Cuadro N° 5:** Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de cancha de mineral.

Parámetro	COMPONENTE: CANCHA DE MINERAL	
	Muestra Tesis (CMN) Salvá M. (2017)	Minera Cerro de Pasco (2012) Stock Pile (STP-1)
pH en Pasta	6,8	2,2
% S	14,85	38,98
PN	1,25	-3,75
PA	464,06	1218,12
PNN	-462,81	-1221,87
PN / PA	0,003	0

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica y Actualización de P.C.M. de la U.M. Cerro de Pasco (Chávez, 2012).

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

**Cuadro N° 6:** Comparación de resultados de la evaluación geoquímica con otros estudios, utilizando material de tajo abierto.

Parámetro	COMPONENTE: TAJO ABIERTO	
	Muestra Tesis (CMN) Salvá M. (2017)	Minera Cerro de Pasco (2012) Tajo Yanacancha (TVC-1)
pH en Pasta	7,3	2,1
% S	0,04	29,57
PN	13,75	-17,5
PA	1,25	924,06
PNN	12,5	-941,56
PN / PA	11	0

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica y Actualización de P.C.M. de la U.M. Cerro de Pasco (Chávez, 2012).

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

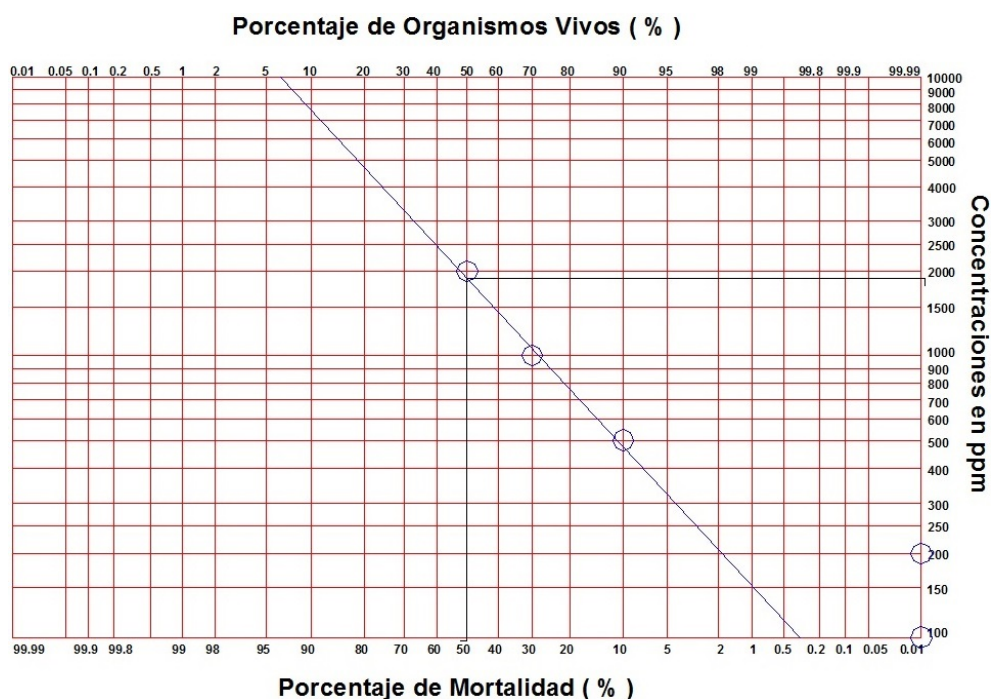
#### 4.1.3 Interpretación de la evaluación biotóxica.

El análisis e interpretación de esta evaluación se realizará independientemente para cada material.

##### 4.1.3.1 Material de relavera

En el primer ensayo biotológico referencial con este material, se utilizó una concentración de 500 ppm, y se observó que la Carpa evaluada siguió viva después de las 24 horas de ensayo, por lo que se determinó que la Concentración Letal Media (CL50) se encuentra alrededor o por encima de los 500 ppm.

En el segundo ensayo biotóxico definitivo de 96 horas con este material, se utilizaron concentraciones de 100 ppm, 200 ppm, 500 ppm, 1000 ppm y 2000 ppm y uno en blanco, y se determinó, mediante la curva de análisis Probit, que la Concentración Letal Media (CL50) fue de 1880 ppm; todos estos resultados obtenidos en esta prueba pueden verificarse en la figura siguiente:



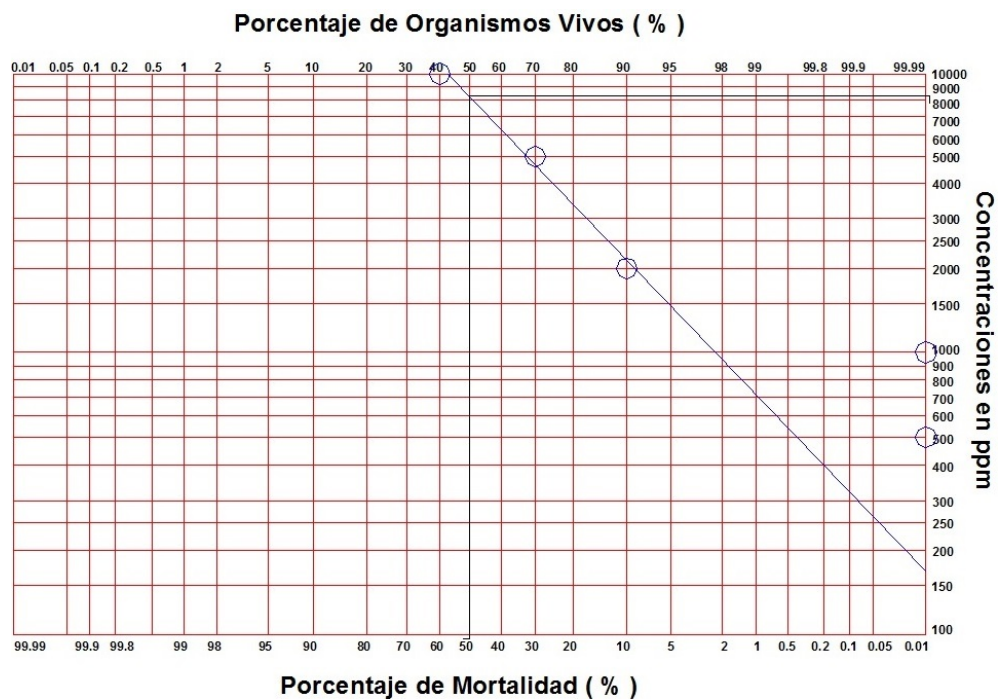
**Figura N° 25:** Ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de relavera.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3.2 Material de desmontera

En el primer ensayo biotóxico referencial con este material, se utilizó una concentración de 1000 ppm, y se observó que la Carpa evaluada siguió viva después de las 24 horas de ensayo, por lo que se determinó que la Concentración Letal Media (CL50) se encuentra alrededor o por encima de los 1000 ppm.

En el segundo ensayo biotóxico definitivo de 96 horas con este material, se utilizaron concentraciones de 500 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 5000 ppm y 10000 ppm y uno en blanco, y se determinó, mediante la curva de análisis Probit, que la Concentración Letal Media (CL50) fue de 8080 ppm; todos estos resultados obtenidos en esta prueba pueden verificarse en la figura siguiente:



**Figura N° 26:** Ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de desmontera.

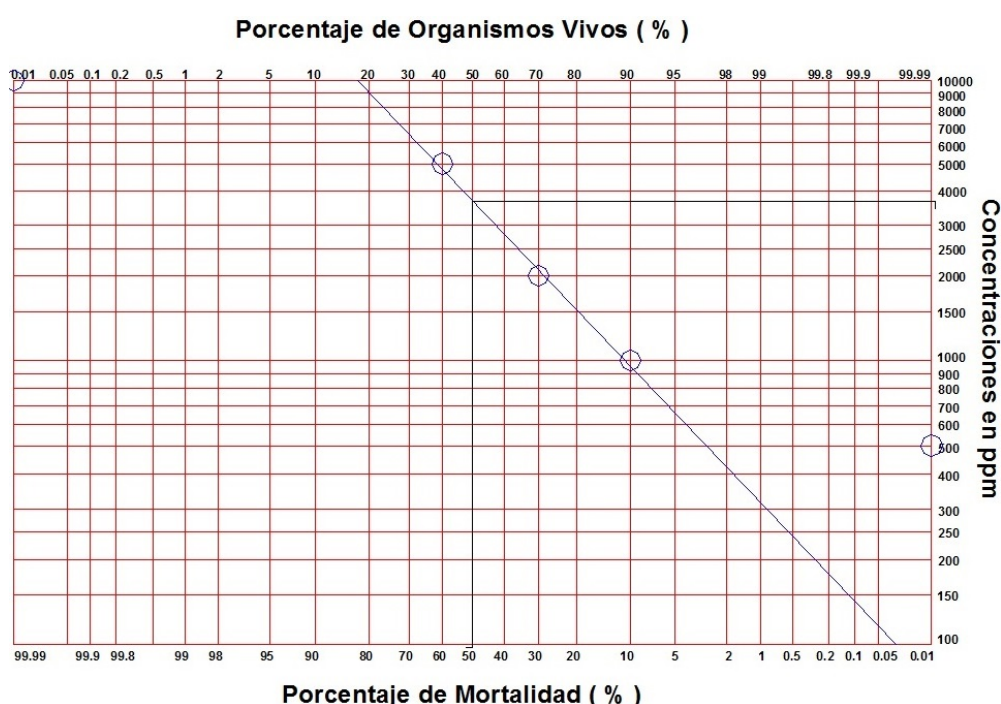
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3.3 Material de cancha de mineral

En el primer ensayo biotóxico referencial con este material, se utilizó una concentración de 1000 ppm, y se observó que la Carpa evaluada siguió viva después de las 24 horas de ensayo, por lo que se determinó que la Concentración Letal Media (CL50) se encuentra alrededor o por encima de los 1000 ppm.



En el segundo ensayo biotóxico definitivo de 96 horas con este material, se utilizaron concentraciones de 500 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 5000 ppm, 10000 ppm y uno en blanco, y se determinó, mediante la curva de análisis Probit, que la Concentración Letal Media (CL50) fue de 3340 ppm; todos estos resultados obtenidos en esta prueba pueden verificarse en la figura siguiente:



**Figura N° 27:** Ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de cancha de mineral.

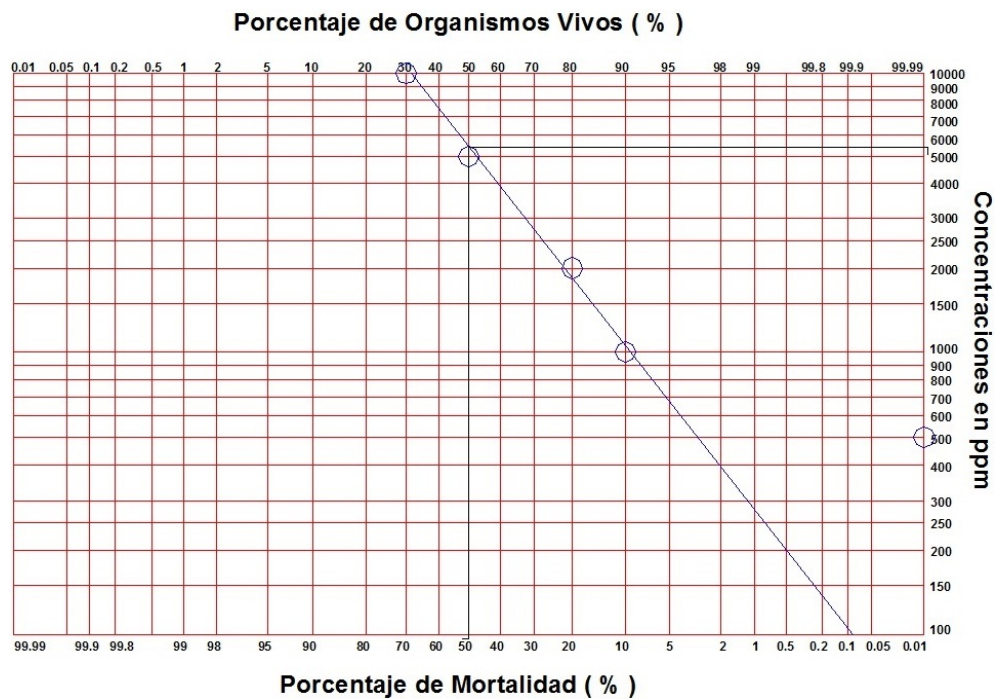
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3.4 Material de tajo abierto

En el primer ensayo biotóxico referencial con este material, se utilizó una concentración de 1000 ppm, y se observó que la Carpa evaluada siguió viva después de las 24 horas de ensayo, por lo que se determinó que la Concentración Letal Media (CL50) se encuentra alrededor o por encima de los 1000 ppm.



En el segundo ensayo biotóxico definitivo de 96 horas con este material, se utilizaron concentraciones de 500 ppm, 1000 ppm, 2000 ppm, 5000 ppm y 10000 ppm y uno en blanco, y se determinó, mediante la curva de análisis Probit, que la Concentración Letal Media (CL50) fue de 5140 ppm; todos estos resultados obtenidos en esta prueba pueden verificarse en la figura siguiente:



**Figura N° 28:** Ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de tajo abierto.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, después de analizar los resultados del material de los 4 componentes mineros, el material de relavera fue el más perjudicial para los peces, a pesar que en su caracterización geoquímica se le considera como incierto en la generación de DAR, esto sucede debido a que el relave contiene además de los minerales mencionados, aditivos orgánicos, como xantatos, espumantes, colectores, coagulantes y floculantes.

#### **4.1.4 Comparación de resultados de la evaluación biotóxica con otros estudios.**

Los resultados de la evaluación biotóxica realizada en esta Tesis fueron comparados con los resultados de los 5 estudios mencionados en los antecedentes:

El primero corresponde bioensayos realizados con efluentes con alta concentración de aluminio, provenientes de una planta de agua potable, utilizando como especies acuáticas a la Daphnia (*D.magma*, *D.pulex* y *D.similis*) y al Guppy (*Poecilia reticulata*), obteniéndose la Concentración Letal Media (CL50) para las 48 y 96 horas de ensayo respectivamente (Moscoso R., 2014)

El segundo corresponde a bioensayos efectuados con efluentes industriales, considerados como aguas residuales, utilizando como especie acuática a la Gambusia (*Gambusia affinis*), obteniéndose la Concentración Letal Media (CL50) para las 24, 48, 72 y 96 horas de ensayo (Villamarín F., 2013; Chacón M., 2013; Álvarez R., 2013).

El tercero corresponde a bioensayos realizados con xantatos Z6 (componente orgánico empleado en las plantas metalúrgicas), utilizando como especie acuática al Guppy (*Poecilia reticulata*), obteniéndose la Concentración Letal Media (CL50) para las 48 y 96 horas de ensayo (Guerrero N., 2012).

El cuarto corresponde a bioensayos efectuados con el agua de la laguna costera del Mar Menor (España), la cual presenta sedimentos contaminados por metales pesados, utilizando tres especies de erizos de mar (*Arbacia lixula*, *Paracentrotus lividus* y *Sphaerechinus granularis*), obteniéndose las Concentraciones Letales Medias (CL50) para cada especie en 48 horas de ensayo (Marín L., 2007).

El quinto corresponde a bioensayos realizados con una solución de cobre de 1000 ppm y con el agua de un río contaminado de metales y alta concentración de sólidos suspendidos, utilizando como especie acuática a la Daphnia (*D.magma*, *D.pulex* y *D.similis*), obteniéndose la Concentración Letal Media (CL50) para las 96 horas de ensayo (Salva M., 2016).

La comparación de los resultados obtenidos se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 7:** Comparación de resultados de la evaluación biotóxica con otros estudios.

Estudio	Especie Utilizada	Material Utilizado	CONCENTRACIÓN LETAL MEDIA (CL50)			
			24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Bioensayos Tesis Salvá M. (2017)	Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Relavera	-----	-----	-----	1880 ppm
		Desmontera	-----	-----	-----	8080 ppm
		Cancha de Mineral	-----	-----	-----	3340 ppm
		Tajo Abierto	-----	-----	-----	5140 ppm
Tesis Moscoso R.	Daphnia ( <i>D.magma</i> , <i>D.pulex</i> y <i>D.similis</i> )	Efluente Concentrado de Aluminio (Planta de Agua)	-----	11,03%	-----	-----
	Guppy ( <i>Poecilia reticulata</i> )		-----	-----	-----	> 100%
Artículo Villamarín F. (2013) Chacón M. (2013) Álvarez R. (2013)	Gambusia ( <i>Gambusia affinis</i> )	Efluente Industrial (Aguas Residuales)	15,91%	15,18%	15,18%	15,12%
Tesis Guerrero N. (2010)	Guppy ( <i>Poecilia reticulata</i> )	Xantatos Z6 (Plantas Metalúrgicas)	-----	10 ppm	-----	1,5 ppm
Tesis Marín L. (2007)	Erizos de Mar	( <i>Arbacia lixula</i> )	-----	1,63 ppm	-----	-----
		( <i>Paracentrotus lividus</i> )	-----	1,71 ppm	-----	-----
		( <i>Sphaerechinus granularis</i> )	-----	1,87 ppm	-----	-----
Artículo Salva M. (2016)	Daphnia ( <i>D.magma</i> , <i>D.pulex</i> y <i>D.similis</i> )	Solución de Cobre de 1000 ppm	-----	-----	-----	0,0033 ppm
		Agua del Río Boca Cabana - Ancash, Perú	-----	-----	-----	59%

Fuente: Informe de Laboratorio de Ensayos Biotóxicos, Tesis Doctoral (Moscoso R., 2014): "Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de planta potabilizadora de El Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos", Artículo (Villamarín F., 2013 ; Chacón M., 2013 ; Álvarez R., 2013): "Pruebas de toxicidad aguda CL50 en peces estuarianos (*Gambusia affinis*) utilizando efluentes industriales a la bahía de Cartagena, Colombia", Tesis de Maestría (Guerrero N., 2010): "Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación", Tesis Doctoral (Marín L., 2007): "Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor" y Artículo (Salva M., 2016): "Evaluación biotóxica de daphnias (*D.magma*, *D.pulex* y *D.similis*) utilizando contaminantes provenientes de la actividad minera, Perú".

#### **4.1.5 Interpretación de la evaluación de calidad de agua.**

Una vez evaluada el agua donde se alcanzaron las Concentraciones Letales Medias (CL50) para cada componente minero polimetálico, se comparó los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en su Categoría 3, referido a riego vegetal y bebida animal (lo más común en las cercanía de las unidades mineras); además, los resultados se compararon con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de la actividad minera-metalúrgicas, determinándose que valores se encuentran en exceso de acuerdo a los valores indicados en cada norma.

Es importante mencionar, que esta comparación con las normativas nacionales, se hace con el fin de demostrar que la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras, debe ser evaluada de manera particular de acuerdo a los componentes y que las normativas deben cumplirse, pero son solamente referenciales.

##### **4.1.5.1 Material de relavera con Carpas**

La relavera presenta un material que corresponde al producto de desecho de la planta metalúrgica y contiene un porcentaje de metales económicos que no fue posible extraer en el proceso, en el caso de la muestra de relave obtenida, se encontró en exceso compuestos de cobre, plomo y zinc, metales ganga como el hierro y manganeso, además de silicatos, carbonatos y compuestos orgánicos utilizados para la extracción.

Los resultados del análisis de agua donde se obtuvo la CL50 para Carpas, utilizando en material de relavera, fueron comparados con respecto a los ECA para agua, en su Categoría 3 y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 8:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de relavera.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	ECA (Categoría 3)	
			Riego Vegetal	Bebida Animal
Cobre	mg/L	0,3	0,2	0,5
Hierro	mg/L	75,33	5	---
Manganeso	mg/L	30,99	0,2	0,2
Plomo	mg/L	1,233	0,05	0,05
Zinc	mg/L	4,533	2	24

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma estos resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos de actividades minera-metalúrgicas y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 9:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores de los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de relavera.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	LMP Minero-Metalurgia	
			Cualquier Momento	Promedio Anual
Hierro	mg/L	75,33	2	1,6
Plomo	mg/L	1,233	0,2	0,16
Zinc	mg/L	4,533	1,5	1,2

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5.2 Material de desmontera con Carpas

La desmontera aglomera a los materiales extraídos de la mina con muy baja ley (no rentable) y contiene un porcentaje de metales económicos que no conforman cuerpos mineralizados, en el caso de la muestra de desmonte obtenida, se encontró en exceso compuestos de cobre, plomo, cromo y zinc, metales ganga como el hierro, manganeso y cadmio, además de silicatos y carbonatos.

Los resultados del análisis de agua donde se obtuvo la CL50 para Carpas, utilizando en material de desmontera, fueron comparados con respecto a los ECA para agua, en su Categoría 3 y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 10:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de desmontera.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	ECA (Categoría 3)	
			Riego Vegetal	Bebida Animal
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	0,05
Cobre	mg/L	0,412	0,2	0,5
Cromo	mg/L	0,19	0,1	1
Hierro	mg/L	180,64	5	---
Manganeso	mg/L	4,18	0,2	0,2
Plomo	mg/L	0,292	0,05	0,05
Zinc	mg/L	2,434	2	24

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma estos resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos de actividades minera-metalúrgicas y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 11:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores de los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de desmontera.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	LMP Minero-Metalurgia	
			Cualquier Momento	Promedio Anual
Cobre	mg/L	0,412	0,5	0,4
Cromo	mg/L	0,19	0,1	0,08
Hierro	mg/L	180,64	2	1,6
Plomo	mg/L	0,292	0,2	0,16
Zinc	mg/L	2,434	1,5	1,2

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5.3 Material de cancha de mineral con Carpas

En la cancha de mineral se encuentran los materiales extraídos de la mina con alta ley (rentable), que posteriormente van a ingresar a la planta metalúrgica para su tratamiento y purificación, contiene un porcentaje alto de metales económicos que conforman los cuerpos mineralizados, en el caso de la muestra de cancha de mineral obtenida, se encontró en exceso compuestos de cobre, plomo, cromo y zinc, metales ganga como el hierro, manganeso, cadmio y arsénico, además de escasos silicatos y carbonatos.

Los resultados del análisis de agua donde se obtuvo la CL50 para Carpas, utilizando en material de cancha de mineral, fueron comparados con respecto a los ECA para agua, en su Categoría 3 y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 12:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de cancha de mineral.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	ECA (Categoría 3)	
			Riego Vegetal	Bebida Animal
Arsénico	mg/L	6,42	0,1	0,2
Cadmio	mg/L	0,956	0,01	0,05
Cobre	mg/L	3,883	0,2	0,5
Cromo	mg/L	0,23	0,1	1
Hierro	mg/L	213,53	5	---
Manganeso	mg/L	5,7	0,2	0,2
Plomo	mg/L	3,742	0,05	0,05
Zinc	mg/L	58,499	2	24

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma estos resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos de actividades minera-metalúrgicas y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 13:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores de los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de cancha de mineral.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	LMP Minero-Metalurgia	
			Cualquier Momento	Promedio Anual
Arsénico	mg/L	6,42	0,1	0,08
Cadmio	mg/L	0,956	0,05	0,04
Cobre	mg/L	3,883	0,5	0,4
Cromo	mg/L	0,23	0,1	0,08
Hierro	mg/L	213,53	2	1,6
Plomo	mg/L	3,742	0,2	0,16
Zinc	mg/L	58,499	1,5	1,2

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5.4 Material de tajo abierto con Carpas

En el tajo abierto se encuentran dos tipos de material, el de alta ley (rentable) donde están los cuerpos mineralizados y el de baja ley (no rentable), en el caso de la muestra de tajo abierto obtenida, la cual es una muestra compósito de ambos materiales, se encontró en exceso compuestos de plomo y zinc, metales ganga como el hierro, manganeso y cadmio, además de escasos silicatos y carbonatos. Después de la extracción de estos materiales se hace el traslado a dos sectores, el de alta ley (rentable) va a la cancha de mineral, para ingresar posteriormente a la planta metalúrgica y el de baja ley (no rentable) va a la desmontera.

Los resultados del análisis de agua donde se obtuvo la CL50 para Carpas, utilizando en material de tajo abierto, fueron comparados con respecto a los ECA para agua, en su Categoría 3 y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.



**Cuadro N° 14:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores del ECA-Categoría 3, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de tajo abierto.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	ECA (Categoría 3)	
			Riego Vegetal	Bebida Animal
Cadmio	mg/L	0,017	0,01	0,05
Hierro	mg/L	72,11	5	---
Manganeso	mg/L	5,07	0,2	0,2
Plomo	mg/L	0,187	0,05	0,05
Zinc	mg/L	4,073	2	24

Fuente: Elaboración propia.

De igual forma estos resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos de actividades minera-metalúrgicas y se determinó que los siguientes parámetros se encuentran en exceso.

**Cuadro N° 15:** Parámetros que se encuentran en exceso comparados con los valores de los LMP, en el agua donde se obtuvo la CL50, con material de tajo abierto.

Parámetro	Unidad	Conc. para la CL50	LMP Minero-Metalurgia	
			Cualquier Momento	Promedio Anual
Cobre	mg/L	0,043	0,5	0,4
Hierro	mg/L	72,11	2	1,6
Plomo	mg/L	0,187	0,2	0,16
Zinc	mg/L	4,073	1,5	1,2

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6 Comparación de resultados de la evaluación de calidad de agua con otros estudios.

Los resultados de la evaluación de calidad de agua realizada en esta Tesis fueron comparados con los resultados de 2 estudios, el primero corresponde a 4 efluentes de la mina San Quintín (España), a los cuales se les evaluó pH, cobre, zinc, plomo, cadmio, arsénico y mercurio (De la Cruz O., 2014; Montalván R., 2014; Hinojosas, 2002); mientras que el segundo corresponde al agua del río Boca Cabana (Perú), al cual se le evaluó el pH, cobre, zinc, plomo, cadmio, arsénico, mercurio, hierro y manganeso, este río tiene gran cantidad de sólidos suspendidos, además de metales solución y suspensión, y es además el lugar donde desembocan efluentes de varias minas polimetálicas activas y abandonadas de la zona (Salvá, M., 2012). La comparación de los resultados obtenidos se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 16:** Comparación de resultados de la evaluación de agua con otros estudios.

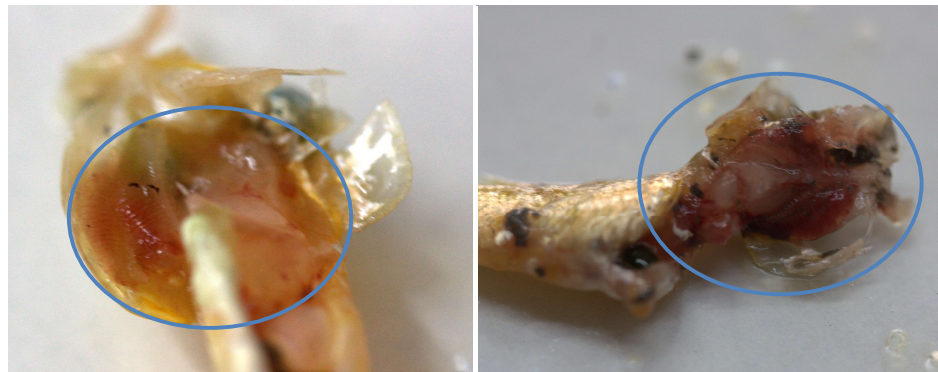
Estudio	Material Lixivado o Utilizado	Parámetros y Metales Totales (mg/L)									
		pH	Cu	Zn	Pb	Cd	As	Hg	Fe	Mn	
Calidad de Agua Tesis Salvá M. (2017)	Relavera	7	0,3	4,533	1,233	0,004	0,0001	0,0009	75,33	30,99	
	Desmontera	7,2	0,412	2,434	0,292	0,01	0,0001	0,0003	180,64	4,18	
	Cancha de Mineral	6,6	3,883	58,499	3,742	0,956	6,42	0,0006	213,53	5,7	
	Tajo Abierto	6,9	0,043	4,073	0,187	0,017	0,0001	0,0007	72,11	5,07	
Tesis De La Cruz O. (2014) Montaván R. (2014) Hinojosas (2002)	Efluentes de la Mina San Quintín (España)	Q-4	2,2	70,103	1554,8	1,013	24,049	<0,001	0,065	-----	-----
		Q-25	7,08	0,725	217,05	4,104	1,315	<0,001	0,001	-----	-----
		Q-41	3,61	2,047	388,69	3,097	2,565	<0,001	0,027	-----	-----
		Q-46	2,49	50,589	1550,6	1,379	30,942	<0,001	0,084	-----	-----
Tesis Salvá M. (2012)	Agua del río Boca Cabana (Perú)	5,1	0,325	0,814	0,396	0,002	6,12	0,001	702,8	5,51	

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación de Agua, Tesis de Ingeniero: "Los drenajes de la mina Pampamali S.A. en la contaminación del riachuelo Ccochatay en el distrito de Secclla, Huancavelica, Perú" (De la Cruz O., 2014 ; Montalván R., 2014 ; Hinojosas, 2002) y Tesis de Maestría: "Tratamiento y remoción de sólidos suspendidos y metales en la cuenca del río Boca Cabana, Ancash, Perú" (Salvá M., 2012).

#### 4.1.7 Interpretación de la evaluación de órganos internos.

Según los resultados presentados en la evaluación de los órganos internos de las Carpas sanas (no sometidas a bioensayos) y afectadas por el material de relavera se determinó lo siguiente:

Se evaluaron 2 Carpas sanas y 2 Carpas afectadas, en donde se observó que los órganos internos más afectados, después de los bioensayos de 96 horas, fueron las branquias (Figura N° 29) y el hígado (Figura N° 30), los cuales se inflamaron y cambiaron su tonalidad.



**Figura N° 29:** Branquias de Carpas sanas (lado izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).

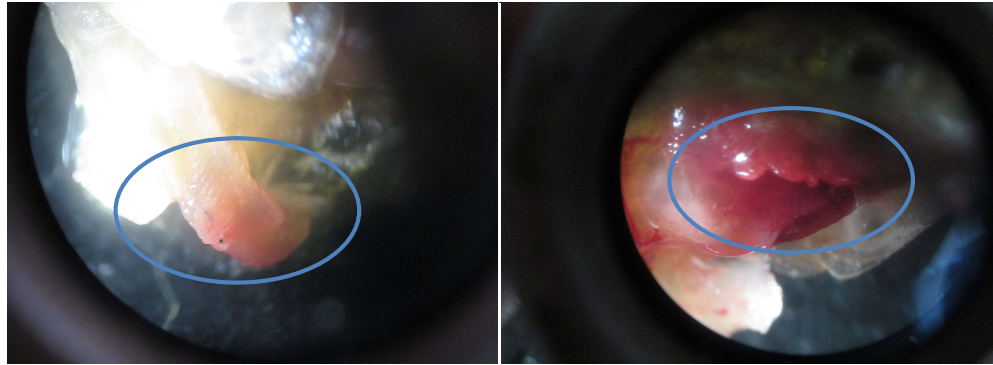
Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos. Laboratorio de Genética de la Universidad Nacional Federico Villarreal.



**Figura N° 30:** Hígado de Carpas sanas (lado izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).

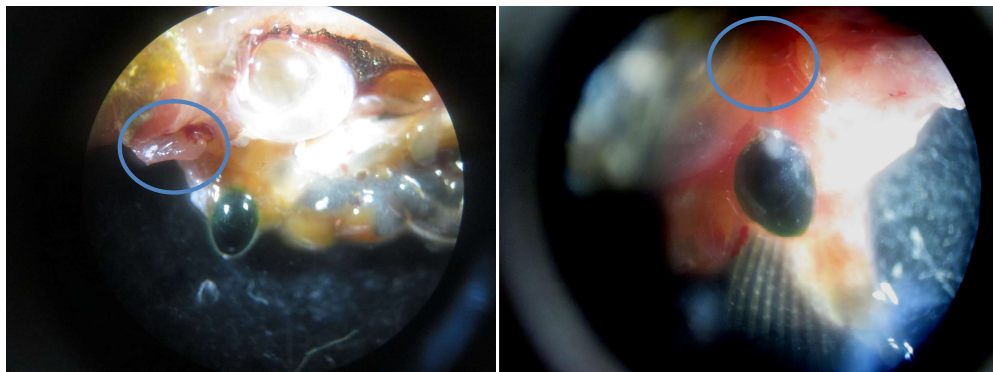
Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos. Laboratorio de Genética de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

En vista estereoscópica se puede observar que las branquias cambian de un color rosado suave a un rojo intenso (Figura N° 31); mientras que en el caso del hígado, se aprecia que varía de un color marrón opaco a un color rojo amarillento (Figura N° 32).



**Figura N° 31:** Vista estereoscópica de las branquias de Carpas sanas (lado izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).

Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos. Laboratorio de Genética de la Universidad Nacional Federico Villarreal.



**Figura N° 32:** Vista estereoscópica del hígado de Carpas sanas (lado izquierdo) y de Carpas afectadas (lado derecho).

Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos. Laboratorio de Genética de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

#### 4.1.8 Comparación de resultados de la evaluación de órganos internos con otros estudios.

Los resultados de la evaluación de órganos internos realizada en esta Tesis fueron comparados con los resultados de 2 estudios, el primero corresponde a una evaluación de Tilapias rojas (*Oreochromis mossambicus*) y Cachamas blancas (*Piaractus brachypomus*), las cuales fueron contaminadas con cianuro (DICYT Colombia, 2012); mientras que el segundo corresponde a una evaluación de Lepomis (*Lepomis macrochirus*), los cuales fueron contaminados con ácido sulfúrico (Elvers B., 1989 ; Hawkins S., 1989). El cianuro es un compuesto utilizado para la extracción del oro en las plantas metalúrgicas, al igual que el ácido sulfúrico es utilizado para la extracción del cobre. La comparación de los resultados obtenidos se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 17:** Comparación de resultados de la evaluación de órganos internos con otros estudios.

Estudio	Especies Evaluadas	Material Lixiviado o Utilizado	Órganos Afectados	Efecto en los Órganos Afectados
Evaluación de Órganos Internos Tesis Salvá M. (2017)	Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Relave	Branquias	Enrojecimiento e inflamación
			Hígado	Enrojecimiento e inflamación
Artículo DICYT Colombia (2012)	Tilapia roja ( <i>Oreochromis mossambicus</i> ) y Cachama blanca ( <i>Piaractus brachypomus</i> )	Cianuro	Branquias	Enrojecimiento
Artículo Elvers B. & Hawkins S. (1989)	Lepomis ( <i>Lepomis macrochirus</i> )	Ácido Sulfúrico	Branquias	Enrojecimiento
			Conjuntiva	Quemazón de la membrana

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos, Artículo: "Efectos adversos del cianuro en especies acuáticas" (DICYT Colombia., 2012) y Artículo: "Características del Ácido Sulfúrico" (Elvers B., 1989 ; Hawkins S., 1989).

#### 4.1.9 Interpretación de la evaluación de bioacumulación de metales.

Según los resultados de la bioacumulación de metales, se observa que los peces expuestos al material de relavera en 96 horas de ensayo, han bioacumulado principalmente: Cd, Cu, Fe, Mn y Zn.

También se aprecia una bioacumulación de metales alcalinos como es el caso de: Na, K, Ca y Mg, estos metales son abundantes en el agua utilizada, por ser un agua potable de clorificada. Es importante mencionar que hay algunos metales como: Pb, Cr y Mo, donde los valores obtenidos son menores al límite de detección de la prueba ICP-Óptica, por lo que no se puede determinar la cantidad bioacumulada de estos metales. La cantidad de metales bioacumulada en los peces después de los ensayos de 96 horas con el material de relavera se observa en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 18:** Metales bioacumulados en las Carpas expuestas al material de relavera en 96 horas de ensayo.

Metales	Cantidad de metales bioacumulados en las Carpas en contacto con el material de relavera, después las 96 horas de ensayo
	Concentración en mg/Kg
Aluminio	14,07
Bario	1,22
Cadmio	1,28
Calcio	425
Cobre	0,06
Hierro	147,26
Magnesio	35,2
Manganeso	65,76
Potasio	161
Sodio	60,39
Zinc	3,57

Fuente: Informe de Laboratorio de Bioacumulación de Metales.

#### 4.1.10 Comparación de resultados de la evaluación de bioacumulación de metales con otros estudios.

Los resultados de la bioacumulación de metales realizada en esta Tesis fueron comparados con los resultados de un estudio, el cual fue también comparado en la evaluación de órganos internos, en este estudio se evalúan *Lepomis (Lepomis macrochirus)* contaminados con ácido sulfúrico; este compuesto se disocia en varios iones a estar en contacto con aguas continentales, los que se bioacumulan en los peces (Elvers B., 1989 ; Hawkins S., 1989). La comparación de los resultados se observan en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 19:** Comparación de resultados de la evaluación de bioacumulación de metales con otros estudios.

Estudio	Especies Evaluadas	Material Lixiviado o Utilizado	Metales y/o Compuestos Bioacumulados
Evaluación de Órganos Internos Tesis Salvá M. (2017)	Carpa ( <i>Cyprinus carpio</i> )	Relave	Al, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na y Zn
Artículo Elders B. & Hawkins S. (1989)	Lepomis ( <i>Lepomis macrochirus</i> )	Ácido Sulfúrico	$\text{ClO}_4^{-2}$ , $\text{VO}_2^+$ , $\text{Fe}^{+2}$ , $\text{Fe}^{+3}$ , $\text{Mn}^{+2}$ y $\text{Ni}^{+2}$ (4,6,11)

Fuente: Informe de Laboratorio de Bioacumulación de Metales y Artículo: "Características del Ácido Sulfúrico" (Elders B., 1989 ; Hawkins S., 1989).

## 4.2 Pruebas de hipótesis.

Las pruebas de las hipótesis, tanto de la general, como de las dos específicas, se muestran a continuación:

### 4.2.1 Hipótesis general.

#### 4.2.1.1 Enunciado de la hipótesis general.

"La concentración de los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos que afecta a los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos cercanos, puede cuantificarse mediante la aplicación de ensayos biotóxicológicos".

#### 4.2.1.2 Prueba de la hipótesis general.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La concentración de contaminantes de los componentes mineros que impacta a los organismos acuáticos, no se cuantifica con la aplicación de ensayos biotóxicológicos.

Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): La concentración de contaminantes de los componentes mineros que impacta a los organismos acuáticos, se cuantifica con la aplicación de ensayos biotóxicológicos.



La prueba es el modelo Probit:

**Cuadro N° 20:** Estimación de parámetros para la hipótesis general.

	Parámetro	Estimación	Desv. Error	Z	Sig.	Intervalo de confianza de 95 %	
						Límite inferior	Límite superior
Probit <sup>a</sup>	Dosis	1,444	0,441	3,272	0,001	0,579	2,309
	Intersección	-5,046	1,682	-3,001	0,003	-6,728	-3,365

a. Modelo Probit: Probit (P) = Intersección + BX (Las covariables "X" se transforman utilizando el logaritmo en base 10).

Fuente: Software SPSS versión 25.

El modelo ajustado a esta aplicación es el que se muestra a continuación:

$$\Phi^{-1}(P) = -5,046 + (1,444 \times \log. \text{Dosis})$$

Como  $p = \text{Sig.} = 0,001 < \alpha = 0,05$  entonces se rechaza  $H_0$ , es decir, la concentración de contaminantes de los componentes mineros que impacta a los organismos acuáticos, se cuantifica con la aplicación de ensayos biotxicológicos.

Se presenta la prueba de bondad de ajuste de Pearson, para ver el ajuste del modelo:

$H_0$ : El modelo está bien ajustado

$H_1$ : El ajuste del modelo no es bueno

**Cuadro N° 21:** Pruebas de Chi-cuadrado para la hipótesis general.

		Chi-cuadrado	gl <sup>b</sup>	Sig.
Probit	Prueba de bondad de ajuste de Pearson	1,490	3	0,685 <sup>a</sup>

a. Puesto que el nivel de significación es mayor que 0,050, no se utiliza el factor de heterogeneidad en el cálculo de los límites de confianza.

b. Las estadísticas basadas en casos individuales difieren de las estadísticas basadas en casos agregados.

Fuente: Software SPSS versión 25.

Como  $p = \text{Sig.} < \alpha = 0,05$ , entonces se rechaza  $H_0$

Caso contrario  $p = \text{Sig.} \geq \alpha = 0,05$ , entonces no se rechaza  $H_0$



Luego como  $0,685 > 0,05$  no se rechaza  $H_0$ , es decir el modelo Probit presenta un buen ajuste.

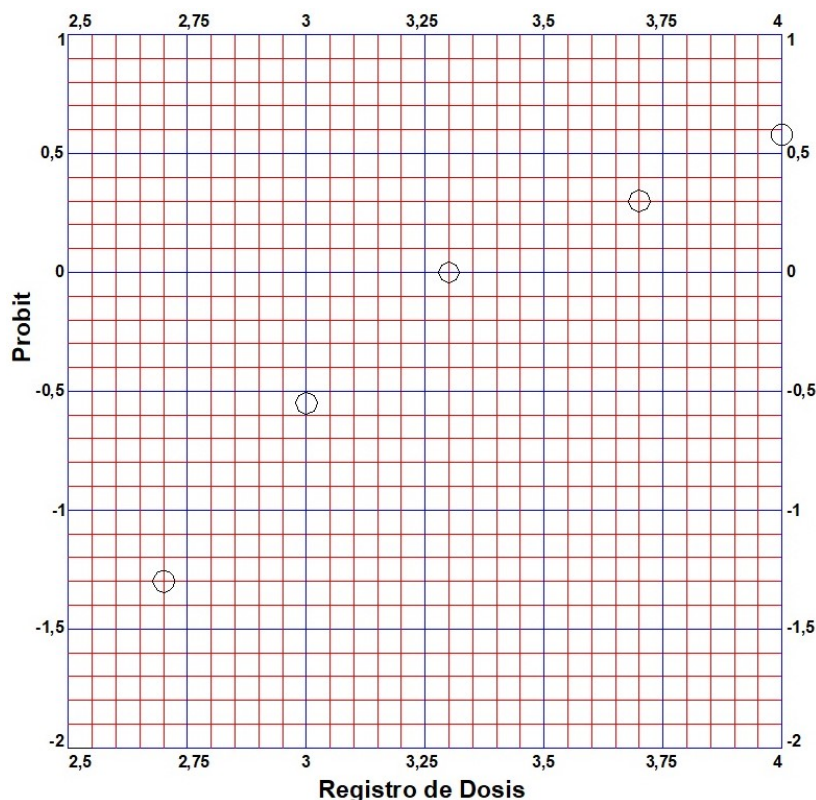
**Cuadro N° 22:** Límites de confianza para la hipótesis general.

	Probabilidad	95% de límites de confianza para dosis			95% de límites de confianza para logaritmo (dosis) <sup>a</sup>		
		Estimación	Límite inferior	Límite superior	Estimación	Límite inferior	Límite superior
Probit	0,010	76,464	0,107	466,956	1,883	-0,970	2,669
	0,020	118,090	0,309	627,085	2,072	-0,509	2,797
	0,030	155,587	0,605	758,084	2,192	-0,218	2,880
	0,040	191,454	1,000	875,836	2,282	0,000	2,942
	0,050	226,645	1,503	986,207	2,355	0,177	2,994
	0,060	261,650	2,124	1092,137	2,418	0,327	3,038
	0,070	296,764	2,874	1195,357	2,472	0,458	3,077
	0,080	332,185	3,765	1297,003	2,521	0,576	3,113
	0,090	368,056	4,810	1397,879	2,566	0,682	3,145
	0,100	404,491	6,022	1498,591	2,607	0,780	3,176
	0,150	597,910	15,160	2014,105	2,777	1,181	3,304
	0,200	815,699	31,221	2576,460	2,912	1,494	3,411
	0,250	1064,774	57,399	3217,387	3,027	1,759	3,508
	0,300	1352,645	98,053	3972,543	3,131	1,991	3,599
	0,350	1688,446	159,074	4889,668	3,227	2,202	3,689
	0,400	2083,866	248,300	6038,149	3,319	2,395	3,781
	0,450	2554,368	375,981	7524,158	3,407	2,575	3,876
	0,500	3121,011	555,253	9517,114	3,494	2,744	3,979
	0,550	3813,354	802,615	12298,716	3,581	2,905	4,090
	0,600	4674,345	1138,573	16358,738	3,670	3,056	4,214
0,650	5769,037	1588,944	22594,584	3,761	3,201	4,354	
0,700	7201,231	2188,209	32762,279	3,857	3,340	4,515	
0,750	9148,150	2987,798	50609,979	3,961	3,475	4,704	
0,800	11941,541	4076,312	85162,437	4,077	3,610	4,930	
0,850	16291,252	5632,752	162368,100	4,212	3,751	5,211	
0,900	24081,416	8101,674	381935,987	4,382	3,909	5,582	
0,910	26465,272	8796,699	472169,796	4,423	3,944	5,674	
0,920	29323,186	9600,682	595676,346	4,467	3,982	5,775	
0,930	32823,096	10547,476	770700,824	4,516	4,023	5,887	
0,940	37227,988	11688,473	1030013,923	4,571	4,068	6,013	
0,950	42977,765	13106,651	1437609,991	4,633	4,117	6,158	
0,960	50877,475	14947,773	2133567,478	4,707	4,175	6,329	
0,970	62606,023	17501,202	3480071,663	4,797	4,243	6,542	
0,980	82485,160	21466,382	6705051,972	4,916	4,332	6,826	
0,990	127389,005	29333,279	19032260,938	5,105	4,467	7,279	

a. Base de logaritmo = 10

Fuente: Software SPSS versión 25.

La Concentración Letal Media (CL50) corresponde a una dosis de 3121 ppm, es decir para alcanzar un 50% de mortalidad es necesario una dosis del 3121 ppm. La relación entre el registro de dosis y los resultados del modelo Probit se muestran en la figura siguiente:

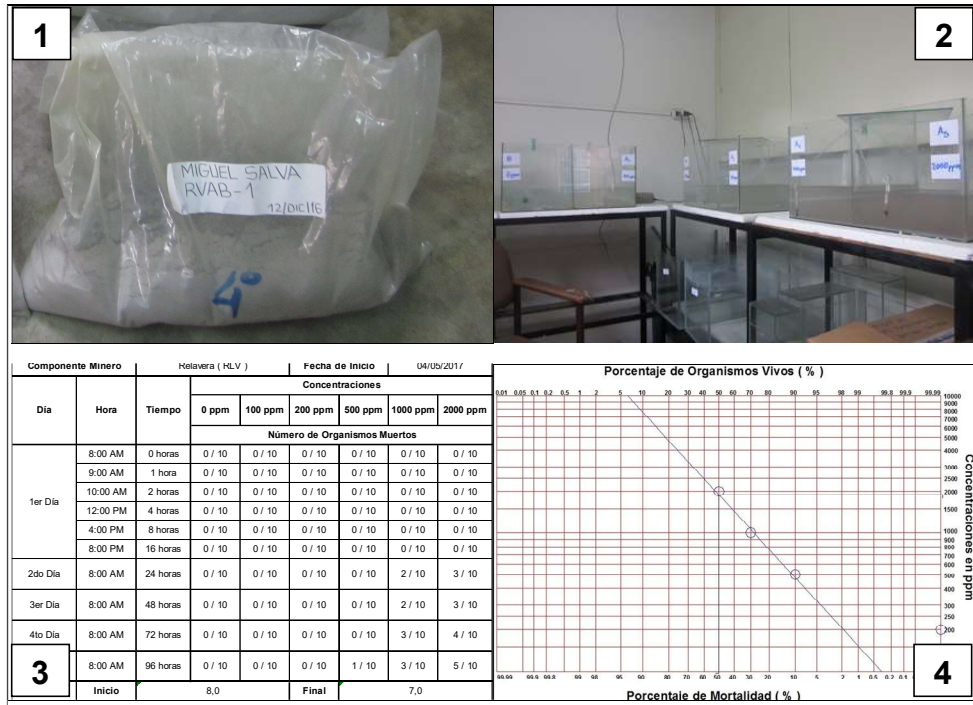


**Figura N° 33:** Respuestas transformadas de Probit para la hipótesis general.

Fuente: Software SPSS versión 25.

Tomando en cuenta el ajuste del modelo Probit, se afirma la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ), es decir, la concentración de los contaminantes de cada componente minero que impacta a los organismos acuáticos, se determina con la obtención de las Concentraciones Letales Medias (CL50), mediante la aplicación de ensayos biotoxicológicos.

El procedimiento para obtener estas concentraciones tiene 4 etapas (Figura N° 34): (1) se pulveriza el material de mina, (2) se realizan los ensayos biotoxicológicos, (3) se obtienen los resultados después de 96 horas de ensayo, de acuerdo a la cantidad de organismos que mueren al final de los ensayos y (4) se calcula la Concentración Letal Media utilizando las curvas de análisis Probit.



**Figura N° 34:** Procedimiento en laboratorio y gabinete para la obtención de la Concentración Letal Media (CL50).

Fuente: Fotografías y gráficos de elaboración propia e Informe de Laboratorio de Ensayos Biotoxicológicos.

#### 4.2.2 Hipótesis específicas.

La tesis presenta dos hipótesis específicas.

##### 4.2.2.1 Enunciado de la primera hipótesis específica.

“Existe una dilución máxima a la que se encuentran los contaminantes generados por los componentes mineros polimetálicos, sin que se altere la salud de los organismos de ecosistemas acuáticos cercanos a las unidades mineras”.

##### 4.2.2.2 Prueba de la primera hipótesis específica.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las diferentes diluciones de material producen el mismo efecto en los organismos de ecosistemas acuáticos.

Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): Las diferentes diluciones de material producen diferentes efectos en los organismos de ecosistemas acuáticos.

La prueba es una ANOVA de una vía verificación de los supuestos de los errores. Primero se prueba la normalidad de los errores:

$H_0$ : Los datos se distribuyen en forma normal

$H_1$ : Los datos se no se distribuyen en forma normal

**Cuadro N° 23:** Pruebas de normalidad para la primera hipótesis específica.

Concentraciones Letales (CL10,20,30,40,50)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Relavera (ppm)	0,112	20	0,200*	0,980	20	0,936

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Software Minitab versión 18.

Como  $p = \text{Sig.} < \alpha = 0,05$ , entonces se rechaza  $H_0$

Caso contrario  $p = \text{Sig.} \geq \alpha = 0,05$ , entonces no se rechaza  $H_0$

Luego como  $p = 0,936 > 0,05$ , no se rechaza  $H_0$ , luego los errores tienen distribución normal. Después se prueba la homogeneidad de varianza por el Test de Levene:

$H_0$ : Todas la varianzas son iguales

$H_1$ : Al menos una varianza es diferente

**Cuadro N° 24:** Estadísticos para la prueba de la primera hipótesis específica.

Método	Estadística de la prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,087
Levene	2,10	0,132

Fuente: Software Minitab versión 18.

Como  $p=0,132 > 0,05$ , no se rechaza  $H_0$ , luego todas las varianzas son iguales. Comprobado los supuestos aplicamos la prueba Anova:

$H_0$ : Las diferentes diluciones de material producen el mismo efecto en los organismos de ecosistemas acuáticos.

$H_1$ : Las diferentes diluciones de material producen diferentes efectos en los organismos de ecosistemas acuáticos.

**Cuadro N° 25:** Prueba Anova para la primera hipótesis específica.

Concentraciones Letales (CL10,20,30,40,50)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	25984752,800	4	6496188,200	6,669	0,003
Dentro de grupos	14610653,750	15	974043,583		
Total	40595406,550	19			

Fuente: Software Minitab versión 18.

**Cuadro N° 26:** Comparaciones múltiples de las Concentraciones Letales CL10, CL20, CL30, CL40 y CL50 del material de relavera.

(I) Dilución	(J) Dilución	Diferencia de medias (I-J)	Dev. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
CL10	CL20	-1040,000	697,869	0,157	-2527,47	447,47
	CL30	-1180,000	697,869	0,112	-2667,47	307,47
	CL40	-2390,250*	697,869	0,004	-3877,72	-902,78
	CL50	-3280,500*	697,869	0,000	-4767,97	-1793,03
CL20	CL10	1040,000	697,869	0,157	-447,47	2527,47
	CL30	-140,000	697,869	0,844	-1627,47	1347,47
	CL40	-1350,250	697,869	0,072	-2837,72	137,22
	CL50	-2240,500*	697,869	0,006	-3727,97	-753,03
CL30	CL10	1180,000	697,869	0,112	-307,47	2667,47
	CL20	140,000	697,869	0,844	-1347,47	1627,47
	CL40	-1210,250	697,869	0,103	-2697,72	277,22
	CL50	-2100,500*	697,869	0,009	-3587,97	-613,03
CL40	CL10	2390,250*	697,869	0,004	902,78	3877,72
	CL20	1350,250	697,869	0,072	-137,22	2837,72
	CL30	1210,250	697,869	0,103	-277,22	2697,72
	CL50	-890,250	697,869	0,221	-2377,72	597,22
CL50	CL10	3280,500*	697,869	0,000	1793,03	4767,97
	CL20	2240,500*	697,869	0,006	753,03	3727,97
	CL30	2100,500*	697,869	0,009	613,03	3587,97
	CL40	890,250	697,869	0,221	-597,22	2377,72

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

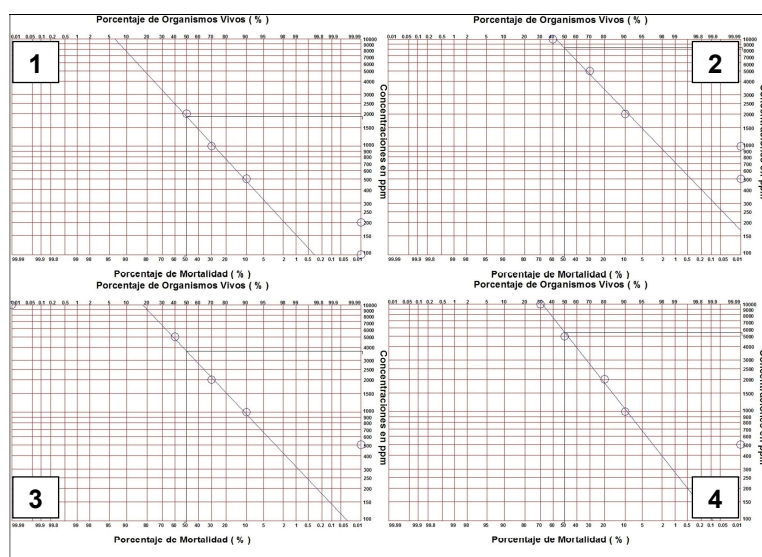
Fuente: Software Minitab versión 18.



Como  $p = \text{Sig.} = 0.003 < \alpha = 0.05$  entonces se rechaza  $H_0$ , es decir, las diferentes diluciones de material producen diferentes efectos en los organismos de ecosistemas acuáticos; por lo que se afirma la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ).

La dilución máxima para el material de cada componente minero, se determina con la obtención de las Concentraciones Letales Medias (CL50) expresadas en mg/L. (1ppm = 1mg/L). Para Carpas utilizando material de relavera (CL50 = 1880 ppm), material de desmontera (CL50 = 8080 ppm), material de cancha de mineral (CL50 = 3340 ppm) y material de tajo abierto (CL50 = 5140 ppm). Para evitar la alteración de los ecosistemas, la dilución del material del componente mencionado debe ser menor a las concentraciones mencionadas.

Las Concentraciones Letales CL10, CL20, CL30, CL40 y CL50 para cada material se determinan utilizando las curvas de análisis Probit, posterior a los resultados de los ensayos biotxicológicos (Figura N° 35), las curvas corresponden: (1) material de relavera, (2) desmontera, (3) cancha de mineral y (4) tajo abierto.



**Figura N° 35:** Concentraciones Letales CL10, CL20, CL30, CL40 y CL50 para cada material, a partir de las curvas de análisis Probit.

Fuente: Gráficos de elaboración propia.

#### 4.2.2.3 Enunciado de la segunda hipótesis específica.

“Al ser afectado un ecosistema acuático por cambios fisicoquímicos generados por contaminantes mineros, también será afectada la salud de los organismos que habitan el ecosistema”.

#### 4.2.2.4 Prueba de la segunda hipótesis específica.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Los cambios fisicoquímicos generados por los contaminantes mineros no afectan la salud de los organismos que lo habitan.

Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ): Los cambios fisicoquímicos generados por los contaminantes mineros afectan la salud de los organismos que lo habitan.

Son pruebas relacionadas antes y después de la contaminación. Primero se prueba la normalidad de los datos:

$H_0$ : Los datos se distribuyen en forma normal

$H_1$ : Los datos se no se distribuyen en forma normal

**Cuadro N° 27:** Pruebas de normalidad para la segunda hipótesis específica.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Antes	0,427	22	0,000	0,346	22	0,000
Después	0,429	22	0,000	0,337	22	0,000

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Software Minitab versión 18.

Como Sig. <  $\alpha=0,05$  entonces se rechaza  $H_0$

Caso contrario Sig.  $\geq \alpha=0,05$ , entonces no se rechaza  $H_0$

Luego como  $\text{Sig.}=0,0 < 0,05$  se rechaza  $H_0$ , luego los datos no tienen distribución normal es decir tiene distribución no paramétrica. Para este caso se aplicará el test de Wilcoxon:

$H_0$ : Los cambios fisicoquímicos generados por los contaminantes mineros no afectan la salud de los organismos que lo habitan.

$H_1$ : Los cambios fisicoquímicos generados por los contaminantes mineros afectan la salud de los organismos que lo habitan.

**Cuadro N° 28:** Rangos para la segunda hipótesis específica.

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Después - Antes	Rangos negativos	11 <sup>a</sup>	6,00	66,00
	Rangos positivos	0 <sup>b</sup>	0,00	0,00
	Empates	11 <sup>c</sup>		
	Total	22		

a. después < antes, b. después > antes, c. después = antes

Fuente: Software Minitab versión 18.

**Cuadro N° 29:** Estadísticos para la prueba de la segunda hipótesis específica.

	Después - Antes
Z	-2,934 <sup>a</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	0,003

a. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Software Minitab versión 18.

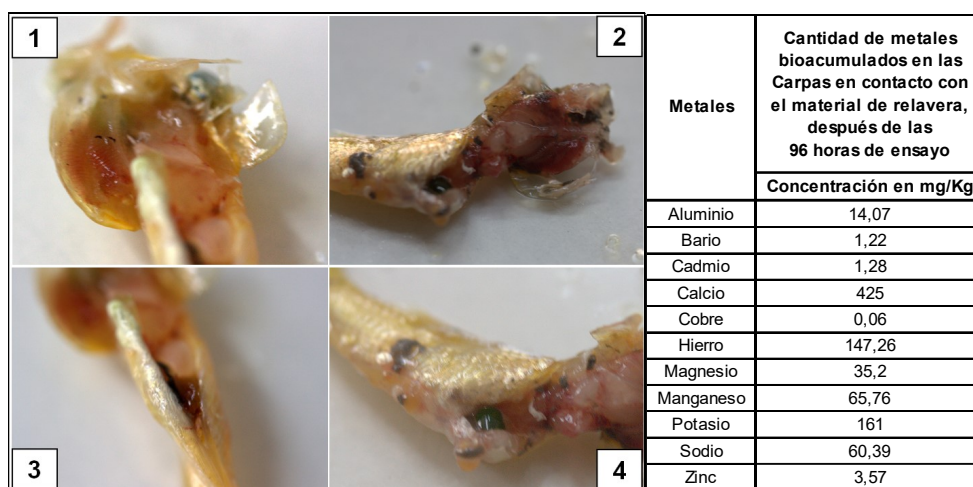
Como  $\text{Sig.}=0,03 < \alpha=0,05$  entonces se rechaza  $H_0$ , es decir, los cambios fisicoquímicos generados por los contaminantes mineros afectan la salud de los organismos que lo habitan; por lo que se afirma la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ).

La salud de los peces expuestos al material de mina fue afectada, esto también se demuestra con los resultados de las evaluaciones de órganos internos y de bioacumulación de metales.



En la evaluación de órganos internos se observó que los órganos afectados, después de los bioensayos de 96 horas con material de relavera, fueron las branquias y el hígado; y en la evaluación de biocamulación de metales se determinó que los peces han acumulados metales como es el caso de: Al, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na y Zn; de acuerdo a los ensayos biotoxicológicos, el material de relavera resultó ser el más perjudicial para las Carpas, por tener la Concentración Letal Media (CL50) más baja de los 4 componentes evaluados.

El daño en la salud de estos peces se manifiesta con la alteración de sus órganos (Figura N° 36), así como se muestra: (1) branquias sanas, (2) branquias afectadas, (3) hígado sano y (4) hígado afectado, además es afectada por la bioacumulación de metales generada por la exposición de los peces a materiales contaminantes provenientes de la actividad minera.



**Figura N° 36:** Órganos sanos y afectados de las Carpas sin influencia y expuestas al material de mina respectivamente y los metales que han sido bioacumulados.

Fuente: Fotografías del Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos e Informe de Laboratorio de Bioacumulación de Metales.

### 4.3 Presentación de los resultados.

#### 4.3.1 Resultados de la evaluación geoquímica.

Los resultados de la evaluación geoquímica realizada en los cuatro materiales de mina, se observan en los siguientes cuadros:

**Cuadro N° 30:** Resultados de la evaluación mineralógica.

Mineral	Fórmula	% en Peso			
		Relavera	Desmontera	Cancha de Mineral	Tajo Abierto
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	69,93	54,84	40,55	18,6
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,15	0,08		0,08
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	6,2	1,63	0,11	1,28
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2,9	1,06	2,68	6,7
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2,3	1,8	11,24	30,4
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	2,2	0,9	8,8	27,2
Pirita	FeS <sub>2</sub>	4,784	2,382	20,593	0,01
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0,084	0,035	0,497	0,017
Esfalerita	ZnS	1,027	0,577	11,069	0,082
Galena	PbS	0,117	0,111	0,207	0,012
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,39	7,1	2,98	13,81
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0,42	1,8	0,12	0,48
Montmorillonita	Ca <sub>0,2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1,2	3,6	0,14	0,84
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	3,05	1,49	0,38	0,49
Arsenopirita	FeAsS	0,25		0,63	
Sericita	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>		15,2		
Cloritas	(Mg,Fe) <sub>2</sub> (Al,Si) <sub>5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>		7,4		

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica.

**Cuadro N° 31:** Resultados de la evaluación de metales.

Elemento Químico	Relavera	Desmontera	Cancha de Mineral	Tajo Abierto
% Ca	4,8	0,67	0,27	0,67
% Fe	6	8,2	11,67	9,7
% Mn	1,929	0,942	0,236	0,31
% Cu	0,029	0,012	0,172	0,006
% Pb	0,101	0,096	0,179	0,01
% Zn	0,689	0,387	7,427	0,215
Cd (ppm)	12	4	420	2
As (ppm)	1139	50	2890	8

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica.

**Cuadro N° 32:** Resultados de la evaluación del Potencial Neto de Neutralización (PNN).

Parámetro	Relavera	Desmontera	Cancha de Mineral	Tajo Abierto
pH en Pasta	7	6,9	6,8	7,3
% S	2,94	1,49	14,85	0,04
PN	103,75	31,87	1,25	13,75
PA	91,87	46,56	464,06	1,25
PNN	11,68	-14,69	-462,81	12,5
PN / PA	1,1	0,7	0,003	11

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica.

Obs. PN, PA y PNN están expresados en Kg CaCO<sub>3</sub>/TM.

Según los resultados de la evaluación geoquímica del material de los 4 componentes mineros, el material que tiene el mayor potencial de generación de drenaje ácido corresponde al de cancha de mineral, además de presentar la mayor concentración de metales y minerales sulfurosos a comparación del material de los otros componentes.

#### 4.3.2 Resultados de la evaluación biotóxica.

Los resultados de la evaluación biotóxica nos presentan la cantidad de organismos que han ido muriendo en cada acuario a lo largo de 96 horas, de manera acumulativa. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

**Cuadro N° 33:** Resultados de los ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de relavera.

Componente Minero		Relavera ( RLV )		Fecha de Inicio		04/05/2017		
Día	Hora	Tiempo	Concentraciones					
			0 ppm	100 ppm	200 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm
Número de Organismos Muertos								
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 hora	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	3 / 10	4 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	5 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	7,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	21 °C			<b>Final</b>	21 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm						

Fuente: Informe de Laboratorio de Ensayos Biotóxicos.

**Cuadro N° 34:** Resultados de los ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de desmontera.

Componente Minero		Desmontera ( DMT )			Fecha de Inicio		30/03/2017		
Día	Hora	Tiempo	Concentraciones						
			0 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	5000 ppm	10000 ppm	
			Número de Organismos Muertos						
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	9:00 AM	1 hora	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	1 / 10	3 / 10	
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	4 / 10	
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	6 / 10	
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	6,0			
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	22,5 °C			<b>Final</b>	22 °C			
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm							

Fuente: Informe de Laboratorio de Ensayos Biotóxicos.

**Cuadro N° 35:** Resultados de los ensayos biotóxicos definitivos con Carpas, utilizando el material de cancha de mineral.

Componente Minero		Cancha de Mineral ( CMN )			Fecha de Inicio		18/03/2017		
Día	Hora	Tiempo	Concentraciones						
			0 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	5000 ppm	10000 ppm	
			Número de Organismos Muertos						
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	9:00 AM	1 hora	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10	
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10	5 / 10	
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	4 / 10	8 / 10	
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	6 / 10	10 / 10	
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	7,0			
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	26 °C			<b>Final</b>	26 °C			
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm							

Fuente: Informe de Laboratorio de Ensayos Biotóxicos.

**Cuadro N° 36:** Resultados de los ensayos biotxicológicos definitivos con Carpas, utilizando el material de tajo abierto.

Componente Minero		Tajo Abierto ( TJA )	Fecha de Inicio		23/04/2017			
Día	Hora	Tiempo	Concentraciones					
			0 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	5000 ppm	10000 ppm
			Número de Organismos Muertos					
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 hora	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	0 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	2 / 10	4 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	2 / 10	3 / 10	6 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	2 / 10	5 / 10	7 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	6,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	22 °C			<b>Final</b>	22 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm						

Fuente: Informe de Laboratorio de Ensayos Biotxicológicos.

De acuerdo a los resultados de la evaluación biotxicológica con alevinos de Carpa (*Cyprinus carpio*) en 96 horas de ensayo, el material que tiene la mayor toxicidad es el de relavera, por hacer que mueran la mitad de los organismos en estudio con una concentración promedio de 2000 ppm y el menos tóxico es el de desmontera por hacerlo con una concentración promedio cercana a los 10000 ppm.

#### 4.3.3 Resultados de la evaluación de calidad de agua.

Los resultados referentes a la evaluación de calidad de agua posterior a los ensayos biotxicológicos, se muestran en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 37:** Resultados de los análisis de agua, correspondientes a la Concentración Letal Media (CL50) de cada material.

Parámetro	Unidad	CL50 Relavera	CL50 Desmontera	CL50 Cancha de Mineral	CL50 Tajo Abierto
pH		7	7,2	6,6	6,9
Conductividad	uS/cm	555	557	550	551
Potencial Redox	mV	209	44,9	160	80
Arsenico	mg/L	0,0001	0,0001	6,42	0,0001
Cadmio	mg/L	0,004	0,01	0,956	0,017
Cobre	mg/L	0,3	0,412	3,883	0,043
Cromo	mg/L	0,05	0,19	0,23	0,06
Hierro	mg/L	75,33	180,64	213,53	72,11
Manganeso	mg/L	30,99	4,18	5,7	5,07
Mercurio	mg/L	0,0009	0,0003	0,0006	0,0007
Plomo	mg/L	1,233	0,292	3,742	0,187
Zinc	mg/L	4,533	2,434	58,499	4,073

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación de Agua.

Según los resultados de la evaluación de calidad de agua del lixiviado donde se consiguieron las Concentraciones Letales Medias (CL50), el lixiviado del material de relavera es el que tiene la mayor concentración de metales y además el que tiene el pH más bajo relativamente.

#### 4.3.4 Resultados de la evaluación de órganos internos.

Los resultados referentes a la evaluación de los órganos internos, nos muestran cuales son los órganos de las Carpas que han sido afectados después de realizar los ensayos biotóxicos con el material de la relavera y son comparados con los órganos de pez sano para verificar las diferencias,; como se detalla en párrafos anteriores, el material de relavera fue el más perjudicial para las Carpas por presentar la menor Concentración Letal Media (CL50) de los 4 componentes evaluados. A continuación se muestran los resultados que fueron obtenidos:

**Cuadro N° 38:** Resultados de la evaluación de órganos internos, realizada en las Carpas afectadas, después de los ensayos biotxicológicos de 96 horas, con el material de relavera.

Especie Utilizada ( Alevinos )	Número de Peces Evaluados	Tamaño Promedio	Tiempo de Exposición al Contaminante	Órganos Alterados	
				Branquias	Hígado
Carpas Sanas	2	3 cm	0 horas	Presentan un color rosado suave	Presentan un color marrón opaco
Carpas Afectadas por el Material de Relavera	2	3 cm	96 horas	Inflamación y un color rojo intenso	Inflamación y un color rojo amarillento

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos.

De acuerdo a los resultados de la evaluación de órganos internos, en los peces afectados por la exposición al material de relavera, en comparación con los peces sanos, hubo cambios de consideración en la tonalidad y textura de las branquias y del hígado.

#### **4.3.5 Resultados de la evaluación de bioacumulación de metales.**

Los resultados referentes a la bioacumulación de metales, nos muestran que después de las 96 horas de exposición al material de relavera, las Carpas han bioacumulado: Al, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na y Zn; además no se ha podido observar la bioacumulación en algunos metales como es el caso de: Ag, Be, Co, Cr, Mo, Ni ,Pb, Sb, Se, Ti y V, por presentar valores menores a los límites de detección de la prueba ICP-Óptica. A continuación se muestran los resultados que fueron obtenidos:

**Cuadro N° 39:** Resultados de la evaluación de bioacumulación de metales, después de los ensayos biotxicológicos de 96 horas, con el material de relavera.

Metales	Carpas en contacto con el material de relavera, después de las 96 horas de ensayo	Carpas sin influencia de contaminantes mineros, después de las 96 horas de ensayo (Blanco)
	Concentración en mg/Kg	Concentración en mg/Kg
Aluminio	15,26	1,19
Antimonio	< 0,25	< 0,25
Bario	4,34	3,12
Berilio	< 0,05	< 0,05
Cadmio	1,71	0,43
Calcio	7912	7487
Cobalto	< 0,05	< 0,05
Cobre	1,9	1,84
Cromo	< 0,05	< 0,05
Hierro	187,69	40,43
Magnesio	247,26	212,06
Manganeso	74,09	8,33
Molibdeno	< 0,05	< 0,05
Niquel	< 0,05	< 0,05
Plata	< 0,05	< 0,05
Plomo	< 0,10	< 0,10
Potasio	1933	1772
Selenio	< 0,25	< 0,25
Sodio	970,63	910,24
Titanio	< 0,15	< 0,15
Vanadio	< 0,05	< 0,05
Zinc	99,31	95,74

Fuente: Informe de Laboratorio de Evaluación de Bioacumulación de Metales.



## CONCLUSIONES.

- La evaluación geoquímica realizada en el material de los 4 componentes mineros polimetálicos, determinó que los materiales de cancha de mineral y desmontera son potenciales generadores de drenaje ácido, el material de relavera se encuentra en un rango incierto y el material de tajo abierto es considerado como no generador de drenaje ácido.
- La mineralogía evaluada del material de los 4 componentes mineros, está compuesta principalmente por silicatos como cuarzo, ortoclasa, albita, anortita, montmorillonita, sericita y clorita, carbonatos como calcita, óxidos como hematita y pirolusita, además de sulfuros como pirita, calcopirita, esfalerita, galena y arsenopirita.
- El resultado de los ensayos biotxicológicos de la primera etapa referencial determinó que las concentraciones del material de relavera para la segunda etapa definitiva fueran de 0 (blanco), 100, 200, 500, 1000 y 2000 ppm; mientras que para el caso del material de desmontera, cancha de mineral y tajo abierto fueran de 0 (blanco), 500, 1000, 2000, 5000 y 10000 ppm.
- El material del componente más perjudicial para las Carpas fue el correspondiente a la relavera, por presentar la Concentración Letal Media (CL50) más baja después de los bioensayos de 96 horas (CL50 = 1880 ppm), seguido de la cancha de mineral (CL50 = 3340 ppm), en tercer lugar se tiene al tajo abierto (CL50 = 5140 ppm) y por último a la desmontera (CL50 = 8080 ppm); esto sucede debido a que el relave contiene además de los minerales mencionados, aditivos orgánicos, como xantatos, espumantes, colectores, coagulantes y floculantes.

- Las concentraciones de metales en el agua donde se obtuvieron las Concentraciones Letales Medias (CL50) en los 4 componentes mineros evaluados, fueron superiores en: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb y Zn a los valores indicados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, en su Categoría 3 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).
- Las concentraciones de metales en el agua donde se obtuvieron las Concentraciones Letales Medias (CL50) en los 4 componentes mineros evaluados, fueron superiores en: As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb y Zn a los valores indicados por los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas (Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM).
- La evaluación de órganos internos, mediante vistas estereoscópicas, realizado en las Carpas expuestas al material de relavera (el más perjudicial), después de los ensayos biotxicológicos de 96 horas, determinó que los órganos afectados fueron principalmente las branquias y el hígado. Las branquias se inflamaron y pasaron de un color rosado suave a un rojo intenso; mientras que el hígado, también se inflamó y paso de un color marrón opaco a un rojo amarillento; de igual forma, los metales bioacumulados en las Carpas, después de la exposición de 96 horas al contaminante, fueron: Cd, Cu, Fe, Mn y Zn.
- En este estudio se determinó la importancia que tienen los ensayos biotxicológicos en la actividad minera, demostrando que tanto los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, como los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas, presentan valores diferentes a lo que serían capaces de resistir muchos organismos acuáticos de ecosistemas cercanos a las unidades mineras; además, el estudio muestra una metodología aplicable en cualquier tipo de yacimiento, utilizando los peces u otros organismos de los ecosistemas cercanos.

## **RECOMENDACIONES.**

- Realizar estos ensayos biotxicológicos con otras especies de organismos acuáticos, en condiciones climáticas similares a los hábitats naturales, determinando de esta manera, el comportamiento de los diferentes organismos a los materiales provenientes de componentes mineros contaminantes.
- Efectuar este tipo de pruebas con materiales de componentes de diferentes tipos de yacimiento, como pueden ser los yacimientos diseminados de oro, pórfidos de cobre, en minería no metálica, entre otros.
- Evaluar periódicamente la salud de los habitantes de las poblaciones que se encuentran cercanas a las unidades mineras, debido a que ellos y su ganado, consumen los organismos que habitan en esos ecosistemas acuáticos.
- Que las unidades mineras que realicen este control ambiental, mediante ensayos biotxicológicos, ejecutando los ensayos independientemente para el material de cada componente propenso a generar contaminación, en condiciones climáticas similares al emplazamiento de la unidad, utilizando las especies acuáticas reconocidas en su línea base ambiental, y controlar cada efluente de acuerdo a las Concentraciones Letales Medias (CL50) obtenidas y al Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, referido a los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF) (1992). *Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales*. Estados Unidos; 8-1 pág. a 8-46 pág. y 8-94 pág. a 8-98 pág.
- Castillo, G. (2004). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones*. Méjico. 1.<sup>a</sup> Edición; 31-112 pág. Editorial IMTA
- Chávez, J. (2013). *Estudio de Actualización de Plan de Cierre de la Unidad Minera Cobriza*. Huancavelica, Perú. Anexo Geoquímica. Cesel S.A.
- Chávez, J. (2012). *Estudio de Actualización de Plan de Cierre de la Unidad Minera Cerro de Pasco*. Pasco, Perú. Anexo Geoquímica. Cesel S.A.
- Chávez, J. (2011). *Estudio de Plan de Cierre de la Unidad Minera Pirquitas. Jujuy, Argentina*. Anexo Geoquímica. Cesel S.A.
- Cornelis, K., Cornelius, H. (1997). *Manual de mineralogía de Dana*. España, 4ta Edición; Vol. 2; 371-602 pág. Editorial Reverte S.A.
- De la Cruz, O., Montalván R. (2014) e Hinojosa (2002). *Los drenajes de la mina Pampamali S.A. en la contaminación del riachuelo Ccochatay en el distrito de Secclla, Huancavelica, Perú*. Tesis de Ingeniero, 20-22 pág.
- Elvers, B. y Hawkins, S. (1989). *Características del Ácido Sulfúrico*, Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry; Volumen 24. 5ta Edición, Estados Unidos. Editorial Wiley

- Ferrer, B. (2010). *Los problemas del medio ambiente desde la filosofía*, Méjico. Editorial Scielo
- Guerrero, N. (2010). *Metodología de evaluación y remoción de xantatos en procesos de flotación, Perú*, Tesis de Maestría; 120-125 pág.
- Jardim, J. (1959). *Guerra química y biológica*, Estados Unidos. Editorial PyV
- Jiménez, M. y Kuhn, G. (2009). *Desarrollo y evolución histórica de la toxicología*. 4ta. Edición. Madrid; 1-19 pág. Editorial Díaz de Santos
- Marín, L. (2007). *Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor, España*; Tesis Doctoral; Resumen.
- Metcalf y Eddy, INC (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. Mc Graw Hill. 3.<sup>a</sup> Edición. Editorial Impresa
- Moscoso, R. (2014). *Determinación de la toxicidad por aluminio del efluente de planta potabilizadora de El Cebollar en el río Tomebamba, utilizando bioensayos ecotoxicológicos, Ecuador*; Tesis Doctoral; Resumen.
- Organización Mundial de la Salud (1990). *Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales, Estados Unidos*; 2.A.II.16 pág. a 2.A.II.21 pág. Editorial Cepis
- Repetto, M. (1995). *Toxicología avanzada*. Madrid; 9-11 pág. Editorial Díaz de Santos
- Rubio, E. (2013). *Las hadas contra las guerras en el medio oriente*. Estados Unidos; 64-65 pág. Editorial Palibrio

- Salvá, M. (2016). *Evaluación biotóxica de daphnias (D.magma, D.pulex y D.similis) utilizando contaminantes provenientes de la actividad minera, Perú*. Riigeo, Vol. 17 N.º 34; 179-183 pág. Editorial Cepredim
- Salvá, M. (2012). *Tratamiento y remoción de sólidos suspendidos y metales en la cuenca del río Boca Cabana, Ancash, Perú*; Tesis de Maestría; 183-202 pág.
- Villamarín, F., Chacón, M. y Álvarez, R. (2013). *Pruebas de toxicidad aguda CL50 en peces estuarios (Gambusia affinis) utilizando efluentes industriales a la bahía de Cartagena, Colombia*. Biosalud; 27-33 pág.
- Web Site de biología y geología.  
[http://biologia-geologia.com/BG1/11\\_los\\_ecosistemas.html](http://biologia-geologia.com/BG1/11_los_ecosistemas.html)
- Web Sites de Carpas y la fauna acuática.  
<http://www.luontoportti.com/suomi/es/kalat/carpa-comun> (Nature Gate)  
<http://www.mascothouse.es/pez-carpa-y-sus-caracteristicas>  
<https://pixabay.com/es/carpa-peces-koi-estanque-asia-217229/>  
<http://centrogaira.blogspot.pe/2013/10/aprendices-sena-desarrollan-proyecto-de.html>
- Web Site de Osinergmin.  
(Artículo: Producción minera en el Perú).  
[http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/RAES/RAES-Mineria-Agosto-2016-GPAE-OS.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-Agosto-2016-GPAE-OS.pdf)
- Web Site de la Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología de Colombia.  
(Artículo: Efectos adversos del cianuro en especies acuáticas, 2012).  
<http://www.dicyt.com/viewNews.php?newsId=26406>

- Web Site de la biodiversidad de Méjico.  
<http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/quees.html>
- Web Site de la creación de la ecología.  
<http://www.ecologiahoy.com/ernst-haeckel-el-creador-de-la-ecologia>
- Web Site de la creación de la toxicología.  
<http://hdnh.es/paracelso-el-padre-de-la-toxicologia-y-el-enemigo-de-los-medicos/>
- Web Site de la intoxicación por consumo de peces contaminados.  
<http://farmaciamarcos.es/salud/intoxicacion-por-metales-pesados/>
- Web Site de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.  
[www.exploradores.org.pe](http://www.exploradores.org.pe)
- Web Site de los estudios mineros del Perú - Manual de Minería.  
[http://ingenierosdeminas.org/biblioteca\\_digital/libros/Manual\\_Mineria.pdf](http://ingenierosdeminas.org/biblioteca_digital/libros/Manual_Mineria.pdf)
- Web Site del diccionario de filosofía.  
<http://filosofia.laguia2000.com/category/diccionario-de-filosofia>
- Web Site del Ministerio de Energía y Mina del Perú.  
<http://www.minem.gob.pe/detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159>
- Web Site del servicio geológico de Méjico.  
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157795/Que-es-la-Geoquimica.pdf>
- Web Site del sistema de información científica Redalyc.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44927436024>

## **ANEXOS.**

- **ANEXO 1:** Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA) (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).
- **ANEXO 2:** Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de Efluentes Líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas (Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM).
- **ANEXO 3:** Informe de Laboratorio de Evaluación Geoquímica.
- **ANEXO 4:** Informe de Laboratorio de Ensayos Biotoxicológicos.
- **ANEXO 5:** Informe de Laboratorio de Evaluación de Agua.
- **ANEXO 6:** Informe de Laboratorio de Evaluación de Órganos Internos.
- **ANEXO 7:** Informe de Laboratorio de Bioacumulación de Metales.



**ANEXO 1**

**ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL ( ECA )  
( DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM )**

## Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO  
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

### Artículo 1.- Objeto de la norma

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

### Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

### Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

#### 3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

##### a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

##### - A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

##### - A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

##### b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

**- B1. Contacto primario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

**- B2. Contacto secundario**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

**3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales****a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabritas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

**b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

**c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

**d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

**3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales****a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

**- Agua para riego no restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

**- Agua para riego restringido**

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

**b) Subcategoría D2: Bebida de animales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

**3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

**a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

**b) Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

**- Ríos de la costa y sierra**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

**- Ríos de la selva**

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

**c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos****- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

**- Marinos**

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precisese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

**Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua**

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

**Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio**

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

#### **Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

#### **Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla**

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

#### **Artículo 8.- Sistematización de la información**

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

#### **Artículo 9.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

##### **Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados**

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

##### **Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua**

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

##### **Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas**

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

#### **DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS**

##### **Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente**

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

##### **Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas**

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

##### **Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados**

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA  
DEROGATORIA**

**Única.- Derogación de normas referidas a  
Estándares de Calidad Ambiental para Agua**

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD  
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN  
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS  
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES  
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN  
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA  
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI  
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

**ANEXO**

**Categoría 1: Poblacional y Recreacional**

**Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Niquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
<b>ORGÁNICOS</b>				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C <sub>8</sub> - C <sub>20</sub> )	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	( e )	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0,06	**	**
<b>I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
<b>BTEX</b>				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
<b>Organofosforados</b>				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,00003	0,00003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,00003	0,00003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
<b>II. CIANOTOXINAS</b>				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
<b>III. BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b>				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 <sup>6</sup>	<5x10 <sup>6</sup>

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub>).



(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos ( $\text{NO}_2$ ).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{E_{\text{CABromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{\text{CABromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 1:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{DBO}_5$ )	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ )	mg/L	10	**
Nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

**Nota 2:**

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

## Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>Bifenilos Policlorados</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

**Área Restringida:** Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 3:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>).



**Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoniac Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>)**

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022
30	23,7	7,50	2,39	0,767	0,256	0,094	0,043	0,021

**Nota:**

(\*)El estándar de calidad de Amoniac total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH<sub>3</sub>).

**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difencil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

## Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 5:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH<sub>3</sub>) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH<sub>3</sub>).

**Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH<sub>3</sub>)**

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Salinidad 10 g/kg</b>								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 20 g/kg</b>								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
<b>Salinidad 30 g/kg</b>								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

**Notas:**

(\*)El estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(\*\*)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH<sub>3</sub>-N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH<sub>3</sub>).

**NOTA GENERAL:**

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

## **ANEXO 2**

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ( LMP ) PARA  
LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE  
ACTIVIDADES MINERO – METALÚRGICAS  
( DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM )**

## **AMBIENTE**

### **Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas**

#### **DECRETO SUPREMO N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32 de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

## Sistema Peruano de Información Jurídica

Que, el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EMVMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente meritados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

**Artículo 1.- Objeto**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2.- Ámbito de Aplicación**

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

**Artículo 3.- Definiciones**

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

3.1 **Autoridad Competente.-** Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

3.2 **Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.-** Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción,

## Sistema Peruano de Información Jurídica

tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

**3.3 Ente Fiscalizador.-** Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

**3.4 Límite Máximo Permisible (LMP).-** Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minerometalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

**3.5 Límite en cualquier momento.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

**3.6 Límite promedio anual.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

**3.7. Monitoreo de Efluentes Líquidos.-** Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

**3.8. Parámetro.-** Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

**3.9 Punto de Control de Efluentes Líquidos.-** Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

**3.10. Programa de Monitoreo.-** Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o

## Sistema Peruano de Información Jurídica

modificar puntos de control del efluente y cuerpo receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

**3.11 Protocolo de Monitoreo.-** Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

**3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.-** Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4 numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30 del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

**3.13 Titular Minero.-** Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

### **Artículo 4.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación**

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que apruebe el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para



## Sistema Peruano de Información Jurídica

el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

### **Artículo 5.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes**

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1 del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

### **Artículo 6.- Resultados del monitoreo**

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

### **Artículo 7.- Fiscalización y Sanción**

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador; quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

### **Artículo 8.- Coordinación interinstitucional**

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

### **Artículo 9.- Regímenes de Excepción**

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la

## Sistema Peruano de Información Jurídica

implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

**Artículo 10.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

**DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES**

**Primera.-** El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

**Segunda.-** En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

**Tercera.-** En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA**

**Única.-** Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004 -94-EM/DGAA.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA**

**Única.-** Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7; 9, 10, 11 y 12, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

## Sistema Peruano de Información Jurídica

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA  
Ministro de Energía y Minas

## ANEXO 01

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES  
PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE  
ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(\*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna “Límite en cualquier momento” son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna “Promedio anual” se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

**ANEXO 3**

**INFORME DE LABORATORIO DE  
EVALUACIÓN GEOQUÍMICA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**  
**Instituto de Minería y Medio Ambiente**

**POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN DE CUATRO MUESTRAS**  
**DE UNA UNIDAD MINERA POLIMETÁLICA**

**SOLICITADO** : MIGUEL ANGEL SALVA BERENZ

**PROCEDENCIA DE MUESTRAS** : Sierra Central del Perú

**RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : Lima, 12 de Diciembre del 2016

**1.- MUESTRAS EVALUADAS**

Nº	Muestras	Componentes
1	RLV	Relavera
2	DMT	Desmontera
3	CMN	Cancha de Mineral
4	TJA	Tajo Abierto

**2. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE MUESTRAS**

Determinado por observaciones microscópicas y análisis espectral de las muestras; cuyos resultados se indican a continuación.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 386  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## 2.1

<b>Muestra</b>
RLV

Corresponde a un relave arenoso constituido por partículas de cuarzo, sulfuros, carbonatos, óxidos de hierro y arcillas. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales / RLV	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	69,93
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,15
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	6,20
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2,90
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2,30
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	2,20
Pirita	FeS <sub>2</sub>	4,784
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0,084
Esfalerita	ZnS	1,027
Galena	PbS	0,117
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,39
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0,42
Montmorillonita	Ca <sub>0,2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,20
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	3,05
Arsenopirita	FeAsS	0,25

## 2.2

<b>Muestra</b>
DMT

Corresponde a fragmentos de rocas predominantemente metamórficas de pizarras de grano fino con vetillas y disseminación de sulfuros, asimismo filitas con disseminación de sulfuros con óxidos de hierro y arcillas. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales / DMT	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	54,84
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,08
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	1,63
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	1,06
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	1,80
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	0,90
Pirita	FeS <sub>2</sub>	2,382
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0,035
Esfalerita	ZnS	0,577
Galena	PbS	0,111
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,10
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	1,80
Montmorillonita	Ca <sub>0,2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	3,60
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	1,49
Sericita	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	15,20
Cloritas	(Mg,Fe) <sub>5</sub> (Al,Si) <sub>5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	7,40

### 2.3

<b>Muestra</b>
CMN

Corresponde a fragmentos de roca volcánica andesita silicificada y en menor proporción pórfidos intrusivos dioríticos mostrando silicificación y caolinización con sulfuros diseminados, óxidos de hierro, escasas arcillas y mínimos carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales / CMN	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	40,55
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	0,11
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	2,68
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	11,24
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	8,8
Pirita	FeS <sub>2</sub>	20,593
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0,497
Esfalerita	ZnS	11,069
Galena	PbS	0,207
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,98
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0,12
Montmorillonita	Ca <sub>0.2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,14
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	0,38
Arsenopirita	FeAsS	0,63

### 2.4

<b>Muestra</b>
TJA

Corresponde a fragmentos de rocas volcánicas porfiríticas de andesitas y dacitas con presencia incipiente de sulfuros con óxidos de hierro, arcillas y carbonatos. Su composición y abundancia mineralógica se indica en la tabla siguiente:

Minerales / TJA	Formula	% en Peso
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	18,60
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,08
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	1,28
Ortoclasa	K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	6,70
Albita	Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	30,40
Anortita	Ca(Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	27,20
Pirita	FeS <sub>2</sub>	0,010
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	0,017
Esfalerita	ZnS	0,082
Galena	PbS	0,012
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,81
Caolinita	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	0,48
Montmorillonita	Ca <sub>0.2</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,84
Pirolusita	MnO <sub>2</sub>	0,49

### 3.- RESULTADO DEL ANALISIS DE METALES EN CUATRO MUESTRAS

La distribución de metales en las muestras determinados por métodos de análisis espectral se indica en la tabla siguiente.

Nº	Muestras	%Ca	%Fe	%Mn	%Cu	%Pb	%Zn	Cd (ppm)	As (ppm)
1	RLV	4,80	6,0	1,929	0,029	0,101	0,689	12	1139
2	DMT	0,67	8,2	0,942	0,012	0,096	0,387	4	50
3	CMN	0,27	11,67	0,236	0,172	0,179	7,427	420	2890
4	TJA	0,67	9,7	0,310	0,006	0,010	0,215	2	8

Los valores del calcio corresponden principalmente a los feldspatos y carbonatos, los valores de hierro se distribuyen formando sulfuros y óxidos, en el caso del manganeso corresponden a ocurrencias de pirolusita, los valores de cobre, plomo, zinc, cadmio y arsénico están ligados fundamentalmente a los minerales sulfurados.

### 4.- POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN DE CUATRO MUESTRAS

La evaluación del contenido de azufre como sulfuro y la prueba ácido-base de las muestras nos permite determinar el potencial neto de neutralización, cuyo resultado se indica en el cuadro siguiente:

Nº	Muestras	pH en pasta	%S	PN	PA	PNN	PN/PA
1	RLV	7,0	2,94	103,75	91,87	<b>11,68</b>	1,1
2	DMT	6,9	1,49	31,87	46,56	<b>-14,69</b>	0,7
3	CMN	6,8	14,85	1,25	464,06	<b>-462,81</b>	0,003
4	TJA	7,3	0,04	13,75	1,25	<b>12,50</b>	11,0

Donde:

- PN = Potencial de neutralización
- %S = Porcentaje de azufre como sulfuro
- PA = Potencial de acidez
- PNN = Potencial neto de neutralización

PN, PA y PNN están expresados en KgCaCO<sub>3</sub>/TM y evaluados según:  
EXTRACTS FROM FIELDS AND LABORATORY METHODS APPLICABLE  
TO OVERBURDENS AND MINE SOILS, U.S. EPA, 600/2 – 78-054, 1978



#### 4.1 Posibilidad de drenaje ácido de cuatro muestras

Determinado en base a los resultados del potencial neto de neutralización de las muestras que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros, considerando:

Que  $PNN = PN - PA$

Si  $PNN > +20$  ; la muestra NO GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si  $PNN < -20$  ; la muestra GENERA DRENAJE ÁCIDO

Si  $-20 < PNN < +20$ , muestra de comportamiento INCIERTO

De acuerdo a estas consideraciones podemos establecer la posibilidad de generación de drenaje ácido de las muestras en presencia de agua, oxígeno y actividad bacterial, como se indica en la tabla siguiente.

Nº	Muestras	Predomina	PN/PA	PNN KgCaCO <sub>3</sub> /TM	Drenaje Acido
1	RLV	Sulfuros	1,1	<b>11,68</b>	<b>Incierto</b>
2	DMT	Sulfuros	0,7	<b>-14,69</b>	<b>Incierto</b>
3	CMN	Silicatos con sulfuros	0,003	<b>-462,81</b>	<b>Si</b>
4	TJA	Escasos carbonatos	11,0	<b>12,50</b>	<b>Incierto</b>

Lima, 15 de Diciembre del 2016

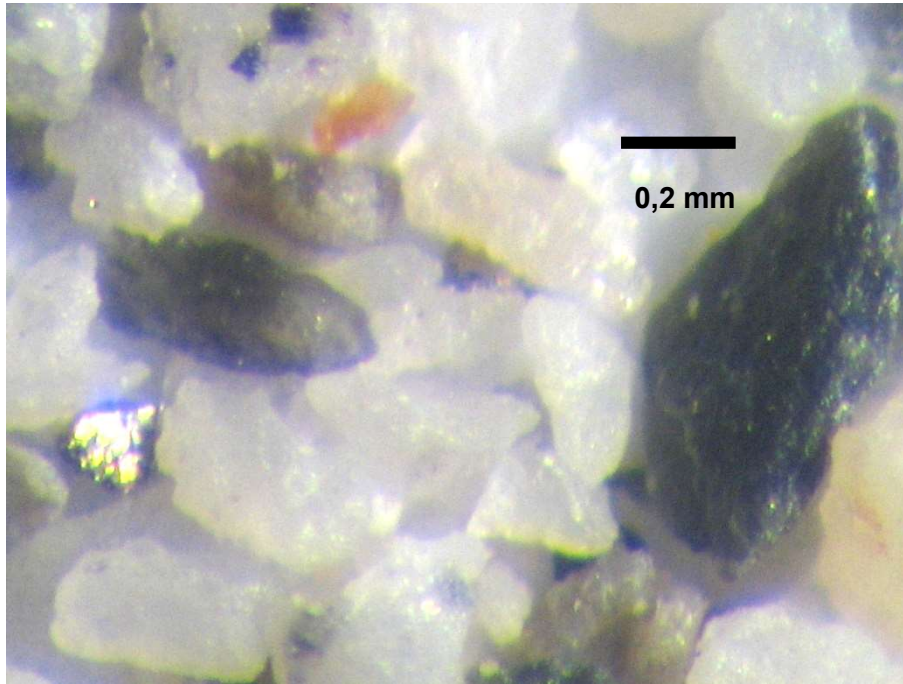


**MSc. Atilio Mendoza A.**  
**Director del Instituto de Minería y Medio Ambiente**

Se adjuntan las fotografías de las cuatro muestras, indicando sus características mineralógicas.

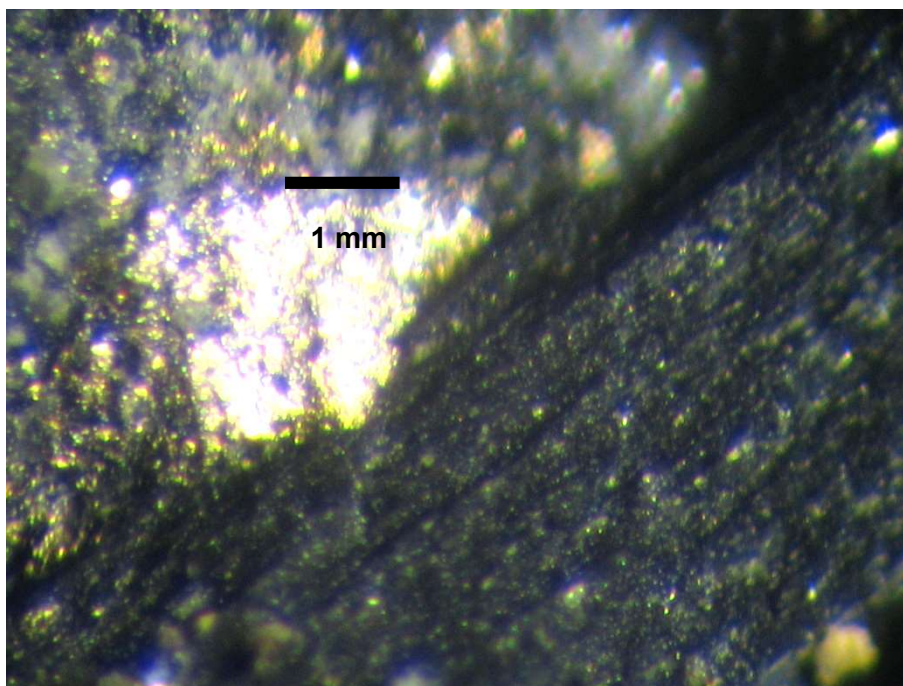
**FOTOGRAFÍAS DE CUATRO MUESTRAS DE UNA UNIDAD MINERA POLIMETÁLICA DE LA SIERRA CENTRAL DEL PERÚ**

1	RLV
---	-----



Relave arenoso constituido por partículas de cuarzo, sulfuros, carbonatos, óxidos de hierro y arcillas.

2	DMT
---	-----



Fragmentos de rocas metamórficas de pizarras de grano fino con vetillas y diseminación de sulfuros, asimismo filitas con sulfuros.

3	CMN
---	-----



Fragmentos de roca volcánica andesita silicificada y en menor proporción pórfidos intrusivos dioríticos mostrando silicificación y caolinización con sulfuros diseminados, óxidos de hierro, escasas arcillas y mínimos carbonatos.

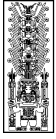
4	TJA
---	-----



Fragmentos de rocas volcánicas porfíricas de andesitas y dacitas con presencia incipiente de sulfuros con óxidos de hierro.

**ANEXO 4**

**INFORME DE LABORATORIO DE  
ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS**



Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y  
Acuicultura

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

**INFORME DE ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS**

Especie utilizada en los bioensayos: Carpas (Cyprinus Carpio)

Materiales de componentes mineros utilizados en los bioensayos:

- Cancha de Mineral (Código: CMN)
- Desmontera (Código: DMT)
- Tajo Abierto (Código: TJA)
- Relavera (Código: RLV)

**1) Resultados de los bioensayos con material de cancha de mineral**

**1.1) Bioensayo Piloto**

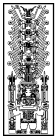
- \* Número de organismos utilizados: 1 Carpa
- \* Concentración utilizada: 1000 ppm
- \* Duración del ensayo: 24 horas

Resultado: El organismo continuó vivo después de las 24 horas de ensayo

**1.2) Bioensayo Principal**

- \* Número de organismos utilizados: 60, divididos en 6 acuarios con 10 organismos en cada uno
- \* Concentraciones utilizadas: 0 (blanco), 500, 1000, 2000, 5000 y 10000 ppm
- \* Duración del ensayo: 96 horas





Resultado: Los resultados son mostrados en la ficha siguiente:

<b>ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS CON CARPAS</b>								
<b>COMPONENTE MINERO</b>		Cancha de Mineral ( CMN )				<b>Fecha de Inicio</b>	18/03/2017	
<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiempo</b>	<b>0 ppm</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>2000 ppm</b>	<b>5000 ppm</b>	<b>10000 ppm</b>
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10	5 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	4 / 10	8 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	6 / 10	10 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	7,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	26 °C			<b>Final</b>	26 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm						

Fuente: Laboratorio de Biotoxicología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

## 2) Resultados de los bioensayos con material de desmontera

### 2.1) Bioensayo Piloto

- \* Número de organismos utilizados: 1 Carpa
- \* Concentración utilizada: 1000 ppm
- \* Duración del ensayo: 24 horas

Resultado: El organismo continuó vivo después de las 24 horas de ensayo

### 2.2) Bioensayo Principal

- \* Número de organismos utilizados: 60, divididos en 6 acuarios con 10 organismos en cada uno
- \* Concentraciones utilizadas: 0 (blanco), 500, 1000, 2000, 5000 y 10000 ppm
- \* Duración del ensayo: 96 horas



Resultado: Los resultados son mostrados en la ficha siguiente:

<b>ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS CON CARPAS</b>								
<b>COMPONENTE MINERO</b>		Desmontera ( DMT )				<b>Fecha de Inicio</b>	30/03/2017	
<b>Día</b>	<b>Hora</b>	<b>Tiempo</b>	<b>0 ppm</b>	<b>500 ppm</b>	<b>1000 ppm</b>	<b>2000 ppm</b>	<b>5000 ppm</b>	<b>10000 ppm</b>
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	1 / 10	3 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	4 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	6 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	6,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	22,5 °C			<b>Final</b>	22 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	110 ppm						

Fuente: Laboratorio de Biotoxicología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

### 3) Resultados de los bioensayos con material de tajo abierto

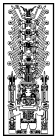
#### 3.1) Bioensayo Piloto

- \* Número de organismos utilizados: 1 Carpa
- \* Concentración utilizada: 1000 ppm
- \* Duración del ensayo: 24 horas

Resultado: El organismo continuó vivo después de las 24 horas de ensayo

#### 3.2) Bioensayo Principal

- \* Número de organismos utilizados: 60, divididos en 6 acuarios con 10 organismos en cada uno
- \* Concentraciones utilizadas: 0 (blanco), 500, 1000, 2000, 5000 y 10000 ppm
- \* Duración del ensayo: 96 horas



Resultado: Los resultados son mostrados en la ficha siguiente:

ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS CON CARPAS								
COMPONENTE MINERO		Tajo Abierto ( TJA )				Fecha de Inicio	23/04/2017	
Día	Hora	Tiempo	0 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm	5000 ppm	10000 ppm
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	0 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	2 / 10	4 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	2 / 10	3 / 10	6 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	1 / 10	2 / 10	5 / 10	7 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	6,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	22 °C			<b>Final</b>	22 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	100 ppm						

Fuente: Laboratorio de Biotoxicología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

#### 4) Resultados de los bioensayos con material de relavera

##### 4.1) Bioensayo Piloto

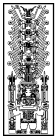
- \* Número de organismos utilizados: 1 Carpa
- \* Concentración utilizada: 500 ppm
- \* Duración del ensayo: 24 horas

Resultado: El organismo continuó vivo después de las 24 horas de ensayo

##### 4.2) Bioensayo Principal

- \* Número de organismos utilizados: 60, divididos en 6 acuarios con 10 organismos en cada uno
- \* Concentraciones utilizadas: 0 (blanco), 100, 200, 500, 1000 y 2000 ppm
- \* Duración del ensayo: 96 horas






Resultado: Los resultados son mostrados en la ficha siguiente:

ENSAYOS BIOTOXICOLÓGICOS CON CARPAS								
Componente Minero		Relavera ( RLV )			Fecha de Inicio		04/05/2017	
Día	Hora	Tiempo	0 ppm	100 ppm	200 ppm	500 ppm	1000 ppm	2000 ppm
1er Día	8:00 AM	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	9:00 AM	1 hora	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	10:00 AM	2 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 PM	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	4:00 PM	8 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	8:00 PM	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
2do Día	8:00 AM	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
3er Día	8:00 AM	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	2 / 10	3 / 10
4to Día	8:00 AM	72 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	3 / 10	4 / 10
5to Día	8:00 AM	96 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	1 / 10	3 / 10	5 / 10
<b>pH</b>	<b>Inicio</b>	8,0			<b>Final</b>	7,0		
<b>Temperatura</b>	<b>Inicio</b>	21 °C			<b>Final</b>	21 °C		
<b>Dureza</b>	<b>Final</b>	120 ppm						

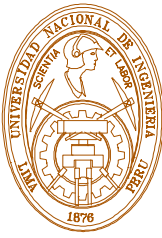
Fuente: Laboratorio de Biotoxicología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Lima, 12 de Mayo del 2017.

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Ing. Abel Walter Zambrano Cabanillas**  
**Coordinador del Laboratorio de Biotoxicología**

**ANEXO 5**

**INFORME DE LABORATORIO DE  
EVALUACIÓN DE AGUA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERIA Y METALURGICA**  
**INSTITUTO DE MINERIA Y MEDIO AMBIENTE**

**ANALISIS DE LIXIVIADOS CORRESPONDIENTES A RELAVES,  
DESMONTE, CANCHA DE MINERAL Y TAJO ABIERTO**

**Solicitado: MIGUEL ANGEL SALVA BERENZ**

**Procedencia de muestras:** Lixiviados de cuatro muestras

**Recepción de muestras:** Lima, 25 de Mayo del 2017

**1.- MUESTRAS EVALUADAS**

<b>Muestra</b>	<b>Lixiviados</b>
RLV	De Relaves
DMT	De Desmonte
CMN	De Cancha de Mineral
TJA	De Tajo Abierto

## 2.- RESULTADO DEL ANALISIS DE LIXIVIADOS

Parámetros	Muestra RLV	Muestra DMT	Muestra CMN	Muestra TJA
pH	7	7.2	6.6	6.9
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	555	557	550	551
Potencial redox (mV)	209	44.9	160	89
Cu (mg/L)	0.300	0.412	3.883	0.043
Pb (mg/L)	1.233	0.292	3.742	0.187
Zn (mg/L)	4.533	2.434	58.499	4.073
Fe (mg/L)	75.33	180.64	213.53	72.11
Mn (mg/L)	30.99	4.18	5.70	5.07
Cd (mg/L)	0.004	0.010	0.956	0.017
As (mg/L)	0.0001	0.0001	6.420	0.0001
Hg (mg/L)	0.0009	0.0003	0.0006	0.0007
Cr (mg/L)	0.05	0.19	0.23	0.06

Lima, 29 de Mayo del 2017

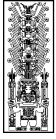



MSc. Atilio Mendoza Apolaya

Director del Instituto de Minería y Medio Ambiente

**ANEXO 6**

**INFORME DE LABORATORIO DE  
EVALUACIÓN DE ÓRGANOS INTERNOS**



Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y  
Acuicultura

“Año del Buen Servicio al Ciudadano”

**INFORME DE OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE ORGANOS INTERNOS**

Especie evaluada: Carpas (Cyprinus Carpio)

Se evaluaron mediante corte directo los órganos internos de 2 grupos de carpas (alevinos), las primeras se encontraban sanas (no fueron sometidas a bioensayos); mientras que las segundas, perecieron después de realizar ensayos biotóxicos de 96 horas con el material de relavera de una unidad minera polimetálica.

Los resultados después de esta evaluación fueron los siguientes:

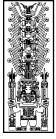
Especie Utilizada ( Alevinos )	Número de Peces Evaluados	Tamaño Promedio	Tiempo de Exposición al Contaminante	Órganos Alterados	
				Branquias	Hígado
Carpas Sanas	2	3 cm	0 horas	Presentan un color rosado suave	Presentan un color marrón opaco
Carpas Afectadas por el Material de Relavera	2	3 cm	96 horas	Inflamación y un color rojo intenso	Inflamación y un color rojo amarillento

Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y  
Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

**Carpas sanas (lado izquierdo) y afectadas (lado derecho),  
antes de realizar la evaluación de órganos internos**



Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y  
Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.



## 1) Evaluación de Branquias

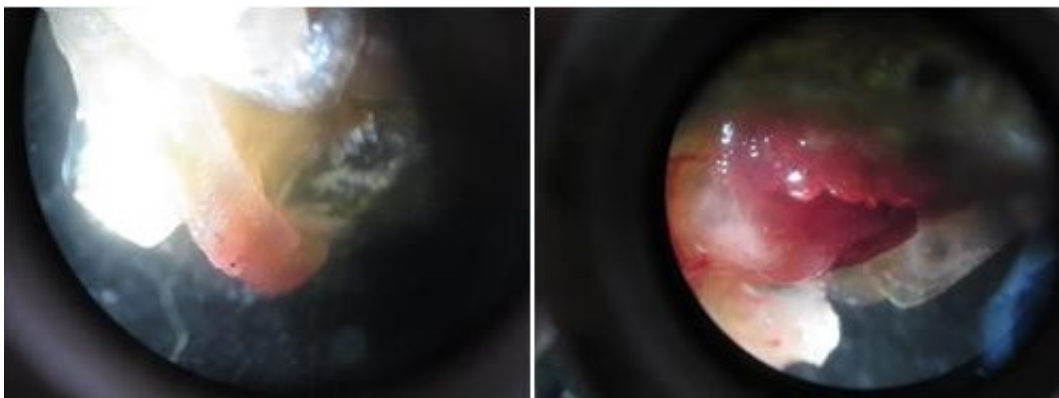
A partir de la vista estereoscópica se puede observar que las carpas que no fueron sometidas a bioensayos (lado izquierdo) presentan branquias de color rosado suave; mientras que las carpas expuestas al material de relavera (lado derecho) muestran branquias inflamadas y de color rojo intenso.

### Branquias de carpas sanas (lado izquierdo) y afectadas (lado derecho)

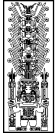


Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

### Vista estereoscópica de las branquias de carpas sanas (lado izquierdo) y afectadas (lado derecho)



Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.



## 2) Evaluación del Hígado

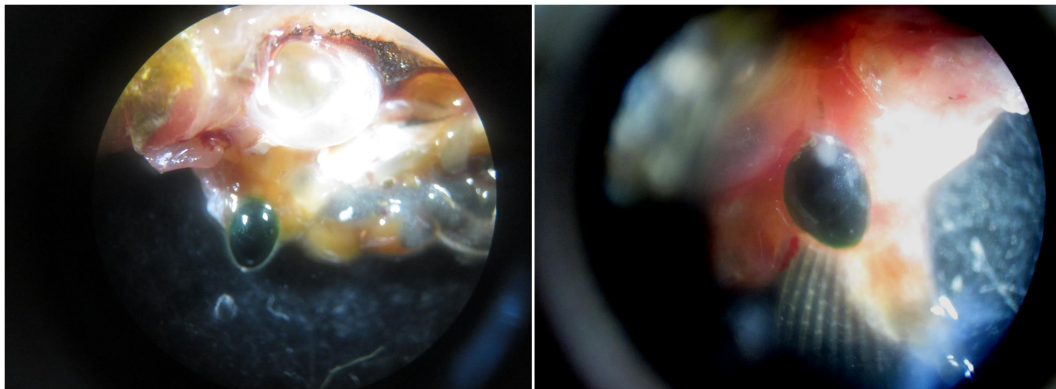
De acuerdo a la vista estereoscópica se puede observar que las carpas que no fueron sometidas a bioensayos (lado izquierdo) presentan el hígado de color marrón opaco; mientras que las carpas expuestas al material de relavera (lado derecho) muestran el hígado inflamado y de color rojo amarillento.

### Hígado de carpas sanas (lado izquierdo) y afectadas (lado derecho)



Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

### Vista estereoscópica del hígado de carpas sanas (lado izquierdo) y afectadas (lado derecho)



Fuente: Laboratorio de Genética de la Facultad de Oceanografía, Pesquería, Ciencias Alimentarias y Acuicultura de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Lima, 12 de Mayo del 2017.

  
\_\_\_\_\_  
**Blga. Betty Eliseni Gamero Collado**  
**Coordinadora del Laboratorio de Genética**



**ANEXO 7**

**INFORME DE LABORATORIO DE  
BIOACUMULACIÓN DE METALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 1-04113/18**

Pág. 1/1

Solicitante : **SALVA BERENZ, MIGUEL ANGEL**  
 Domicilio legal : **Octavio Mena Nro. 119 (dpto. 501) - San Borja - Lima - Lima**  
 Producto declarado : **CARPAS (ALEVINOS) - MUESTRA 1**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : **1 muestra x 8 unidades**  
**Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **TS-1**  
 Forma de Presentación : **En bolsa polietileno tipo ziplock cerrado**  
 Fecha de recepción : **2018 - 05 - 11**  
 Fecha de inicio del ensayo : **2018 - 05 - 11**  
 Fecha de término del ensayo : **2018 - 05 - 15**  
 Ensayo realizado en : **Laboratorio de Físico Química - Alimentos**  
 Identificado con : **H/S 18005044 (EXPE-07254-2018)**  
 Validez del documento : **Este documento es válido solo para la muestra descrita**

Ensayo	LC	Unidad	Resultados	
Metales por ICP-OES	Aluminio	0,25	mg/kg	15,26
	Antimonio	0,25	mg/kg	< 0,25
	Bario	0,05	mg/kg	4,34
	Berilio	0,05	mg/kg	< 0,05
	Cadmio	0,05	mg/kg	1,71
	Calcio	2,5	mg/kg	7 912
	Cobalto	0,05	mg/L	< 0,05
	Cobre	0,05	mg/kg	1,90
	Cromo	0,05	mg/kg	< 0,05
	Hierro	0,2	mg/kg	187,69
	Magnesio	0,35	mg/kg	247,26
	Manganeso	0,05	mg/kg	74,09
	Molibdeno	0,05	mg/kg	< 0,05
	Níquel	0,05	mg/kg	< 0,05
	Plata	0,05	mg/kg	< 0,05
	Plomo	0,1	mg/kg	< 0,10
	Potasio	4,5	mg/kg	1 933
	Selenio	0,25	mg/kg	< 0,25
	Sodio	1,5	mg/kg	970,63
	Titanio	0,15	mg/kg	< 0,15
Vanadio	0,05	mg/kg	< 0,05	
Zinc	0,05	mg/kg	99,31	

LC: Limite de cuantificación

**MÉTODO**

**Metales por ICP-OES:** AOAC-990.08, c9,19th Ed 2012. Metals in Solid Wastes. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometric Method

**OBSERVACIONES**

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 18 de mayo de 2018  
 BC

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**

**ING. ROSA PALOMINO LOO**  
 C.I.P. N° 40302  
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS  
 AREQUIPA

Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores - Arequipa  
 T. (054) 265572

**CHIMBOTE**  
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
 T. (043) 311 048

**PIURA**  
 Urb. Angamos A - 2 - Piura  
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

**CALLAO**  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
 T. (511) 319 9000



## INFORME DE ENSAYO N° 1-04114/18

Pág. 1/1

Solicitante : **SALVA BERENZ, MIGUEL ANGEL**  
 Domicilio legal : Octavio Mena Nro. 119 (dpto. 501) - San Borja - Lima - Lima  
 Producto declarado : **CARPAS (ALEVINOS) - MUESTRA 2**  
 Cantidad de Muestras para el Ensayo : 1 muestra x 10 unidades  
**Muestra proporcionada por el solicitante**  
 Identificación de la muestra : **TS-2**  
 Forma de Presentación : En bolsa polietileno tipo ziplock cerrado  
 Fecha de recepción : 2018 - 05 - 11  
 Fecha de inicio del ensayo : 2018 - 05 - 11  
 Fecha de término del ensayo : 2018 - 05 - 15  
 Ensayo realizado en : Laboratorio de Físico Química - Alimentos  
 Identificado con : **H/S 18005044 (EXPE-07254-2018)**  
 Validez del documento : Este documento es válido solo para la muestra descrita

Ensayo	LC	Unidad	Resultados	
Metales por ICP-OES	Aluminio	0,25	mg/kg	1,19
	Antimonio	0,25	mg/kg	< 0,25
	Bario	0,05	mg/kg	3,12
	Berilio	0,05	mg/kg	< 0,05
	Cadmio	0,05	mg/kg	0,43
	Calcio	2,5	mg/kg	7 487
	Cobalto	0,05	mg/kg	< 0,05
	Cobre	0,05	mg/kg	1,84
	Cromo	0,05	mg/kg	< 0,05
	Hierro	0,2	mg/kg	40,43
	Magnesio	0,35	mg/kg	212,06
	Manganeso	0,05	mg/kg	8,33
	Molibdeno	0,05	mg/kg	< 0,05
	Níquel	0,05	mg/kg	< 0,05
	Plata	0,05	mg/kg	< 0,05
	Plomo	0,1	mg/kg	< 0,10
	Potasio	4,5	mg/kg	1 772
	Selenio	0,25	mg/kg	< 0,25
	Sodio	1,5	mg/kg	910,24
Titanio	0,15	mg/kg	< 0,15	
Vanadio	0,05	mg/kg	< 0,05	
Zinc	0,05	mg/kg	95,74	

LC: Limite de cuantificación

### MÉTODO

**Metales por ICP-OES:** AOAC-990.08, c9,19th Ed 2012. Metals in Solid Wastes. Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometric Method

### OBSERVACIONES

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita de CERPER S.A.  
 Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

Callao, 18 de mayo de 2018  
 BC

**CERTIFICACIONES DEL PERU S.A.**

**ING. ROSA PALOMINO LOO**  
 C.I.P. N° 40302  
 JEFE DE COORDINACIÓN DE LABORATORIOS  
 AREQUIPA

Calle Teniente Rodríguez N° 1415  
 Miraflores - Arequipa  
 T. (054) 265572

CHIMBOTE  
 Urb. José Carlos Mariátegui s/n  
 Centro Cívico, Nuevo Chimbote  
 T. (043) 311 048

PIURA  
 Urb. Angamos A - 2 - Piura  
 T. (073) 322 908 / 9975 63161

CALLAO  
 Oficina Principal  
 Av. Santa Rosa 601, La Perla - Callao  
 T. (511) 319 9000