



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



EVALUACIÓN DE RIESGO AMBIENTAL DEL RELAVE
MINERO- METALÚRGICO DE LA PLANTA DE BENEFICIO
TIQUILLACA, UNA - PUNO

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. BRYAN RAÚL JUÁREZ CHAHUARA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PUNO - PERÚ

2020



DEDICATORIA

Dios tiene un propósito para cada uno, nos ayuda a sobrellevar cada obstáculo, nos enseña que existen muchas situaciones difíciles que con amor, fe y paciencia llegamos a superar cada adversidad; a ti Dios por darme sabiduría, más luz en mi camino y permitirme conocer personas maravillosas en diferentes etapas de mi vida.

A mis padres: Raúl y Saida, a mi hermana Koral y mis abuelos por su apoyo incondicional.

Bryan Juárez.



AGRADECIMIENTOS

- A Dios por llenar de mi corazón de fe y empatía, por darme sabiduría y así poder culminar mis estudios universitarios.
- A La Universidad Nacional del Altiplano, mi alma máter, por permitirme crecer tanto personal como profesionalmente en sus aulas.
- A la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, a cada docente por brindarme sus conocimientos y experiencias para hacer de mí un Ingeniero Metalurgista con vocación y excelente persona.
- Con mucha gratitud a mis jurados de tesis, M.Sc. Germán Coillo Cotrado, M.Sc. Dalmiro Cornejo Olarte, Ing. Hugo Fernández Ochoa y Director de Tesis, Dr. Dante Salas Ávila, por el apoyo, sus enseñanzas y la paciencia en mi trabajo de tesis.
- Al M.Sc. Hernán Apaza Porto y quienes estuvieron directa o indirectamente brindándome su apoyo para la mejor realización del presente trabajo.

Bryan Juárez.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 10

ABSTRACT..... 11

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 12

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14

 1.2.1. Formulación del problema 14

 1.2.2. Descripción del problema 14

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 14

 1.3.1. Objetivo general..... 14

 1.3.2. Objetivos específicos 15

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN..... 16

 1.5.1. Hipótesis general..... 16

 1.5.2. Hipótesis específicas 16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO LEGAL VIGENTE 17

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS 18

 2.2.1. Relave minero 18

 2.2.2. Cancha de relave 19

 2.2.3. Pasivo ambiental 19



2.2.4. Metales pesados	20
2.2.5. Contaminación por metales pesados	20
2.2.6. Metales pesados en relaves mineros.	21
2.2.7. Valoración ambiental.	21
2.2.8. Riesgo ambiental por la actividad minera.	21
2.2.9. Matriz Rápida de Evaluación de Impactos Ambientales (RIAM).	22
2.2.10. Límites máximos permisibles.	22
2.2.11. Estándares de Calidad Ambiental.	22
2.2.12. Método de ensayo ICP – OES	22
2.2.13. Valoración ambiental	23
2.2.14. Matriz del riesgo ambiental	31
2.2.15. Evaluación del riesgo ambiental	31

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA	32
3.1.1. Bases de datos y buscadores:	32
3.1.2. Acceso a la información sistematizada:	32
3.1.3. Repositorios universitarios.....	32
3.1.4. Gestores de referencias:	32
3.2. TRABAJO DE CAMPO	33
3.2.1. Localización	33
3.2.2. Materiales.....	37
3.2.3. Diseño de la toma de muestra	38
3.2.4. Toma de muestra.....	41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO	47
---	-----------



4.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE METALES DE LABORATORIO	47
4.2.1. Análisis de Arsénico	50
4.2.2. Análisis de Cadmio	51
4.2.3. Análisis de Cromo.....	52
4.2.4. Análisis de Cobre	53
4.2.5. Análisis de Plomo	54
4.2.6. Análisis de Zinc	55
4.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	56
4.4. VALORACIÓN RIAM	58
4.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL	58
4.5.1. Determinación de escenario de riesgos	58
4.5.2. Estimación de probabilidad.....	59
4.5.3. Estimación de gravedad de las consecuencias	59
4.5.4. Estimación del riesgo ambiental	61
4.5.5. Caracterización del riesgo.....	63
4.6. PLAN DE CONTINGENCIA	64
4.6.1. Gestión de los aspectos afectados por los impactos ambientales significativos	65
4.7. SOLUCIONES FRENTE AL RIESGO AMBIENTAL EXISTENTE	66
V. CONCLUSIONES	68
VI. RECOMENDACIONES	69
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	78



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Ruta de acceso a la planta de beneficio de Tiquillaca.....	34
Tabla N° 2. Resultados de metales contenidos en el relave en ppm.....	47
Tabla N° 3. Categoría de Toxicidad para la Ecología	56
Tabla N° 4. Determinación de las Categorías De Toxicidad Para La Ecología	57
Tabla N° 5. Impactos ambientales producidos por relave y área de impacto	57
Tabla N° 6. Matriz de valoración de impactos.	58
Tabla N° 7. Análisis de escenarios.	58
Tabla N° 8. Rango de estimación probabilística.....	59
Tabla N° 9. Rango de estimación de consecuencias.....	59
Tabla N° 10. Valoración de los escenarios identificados	60
Tabla N° 11. Estimador del riesgo ambiental	61
Tabla N° 12. Riesgo en el entorno natural.....	61
Tabla N° 13. Riesgo en el entorno humano	62
Tabla N° 14. Estimador del riesgo socioeconómico.....	62
Tabla N° 15. Evaluación del riesgo ambiental	63



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Legislación de pasivo ambiental minero en Perú	20
Figura N° 2. Mapa del departamento de Puno.....	33
Figura N° 3. Mapa del distrito de Tiquillaca.	34
Figura N° 4. Ruta a la zona de estudio, vía imagen satelital.	35
Figura N° 5. Foto de la planta de beneficio, Tiquillaca, vía satelital.....	36
Figura N° 6. Planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno.....	36
Figura N° 7. Materiales y herramientas de campo.....	38
Figura N° 8. Relavera de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno.	39
Figura N° 9. Trazado y dimensionamiento (Relavera).....	39
Figura N° 10. Sectorización de la relavera.	40
Figura N° 11. Relavera en 3D.....	40
Figura N° 12. Fraccionamiento de la Relavera.....	41
Figura N° 13. Uso del muestreador tubular	42
Figura N° 14. Muestreador manual tipo barreno.	43
Figura N° 15. Muestra por corte (Muestreador tubular).....	43
Figura N° 16. Homogenización de la muestra.	44
Figura N° 17. Método de cuarteo.....	45
Figura N° 18. Método de muestreo sistemático alternado.....	45
Figura N° 19. Etiquetado de muestras.	46
Figura N° 20. Muestras representativas.....	46
Figura N° 21. Grafico en columnas de la cantidad de metales.	48
Figura N° 22. D.S. N° 011-2017 MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para suelo.	49
Figura N° 23. LMPs para suelos y sedimentos contaminados.....	50
Figura N° 24. Muestras de As en ppm y normativa.....	50
Figura N° 25: Muestras de Cd en ppm y normativa.	51
Figura N° 26. Muestras de Cr en ppm y normativa.	52
Figura N° 27: Muestras de Cu en ppm y normativa.	53
Figura N° 28: Muestras de Pb en ppm y normativa.....	54
Figura N° 29. Muestras de Zn en ppm y normativa.....	55
Figura N° 30. Establecimiento del riesgo alto en la escala de evaluación de riesgo ambiental	63
Figura N° 31. Organigrama de responsabilidades del plan de contingencia.	65



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

D.S.: Decreto Supremo.

ECA: Estándar de calidad ambiental.

E.I.A.: Evaluación de Impacto Ambiental

ERSA: Evaluación de Riesgos a la Salud y al Ambiente.

LMP: Límites Máximos Permisibles.

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINEM: Ministerio de Energía y Minas.

PAM: Pasivo Ambiental Minero

PPM: Partes por millón

RIAM: Matriz Rápida de Impacto Ambiental (The Rapid Impact Assessment Matrix).

UNA: Universidad Nacional del Altiplano - Puno



RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo evaluar el riesgo ambiental del relave minero – metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA –Puno. Definitivamente los relaves mineros sin un sistema de gestión ni un plan de contingencia tienen potencial de causar daño al medio ambiente, buscamos una minería amigable con el medio ambiente, tal como lo indica (Liao G, Liao D, & Li Q, 2008); los resultados del análisis de metales pesados y metaloide (As), indicaron valores altos en ppm de (As), 474.74; 177.72; 306.99 y 203.54; (Cd), 120.29; 31.96; 36.56 y 114.11; (Cr), 16.83; 11.99; 55.88 y 41.69; (Cu), 495.4; 238.8; 1449 y 1815; (Pb), 7636; 2446; 10000 y 10000; (Zn), 8791; 3556; 5377 y 9185, cabe resaltar que de estos elementos mencionados se rescatan al Cu, Fe, Pb y Zn como elementos de interés económico, los mismos que son elementos con potencial de causar daño, por su toxicidad, al medio ambiente y la salud humana, tal como se indica en la valoración RIAM, teniendo dos impactos significativos negativos: Modificación de la calidad del agua por erosión del relave y modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración así como un impacto negativo moderado relevante: modificación de la calidad del aire por dispersión de metales pesados producidos por condiciones climáticas. El relave se encuentra en un estado de costra superficial (por resequedad), en consecuencia se produce erosión del mismo y este finalmente por acción del viento es transportado a diferentes biotopos llegando a la conclusión que se tiene un riesgo ambiental por el relave del CIP Tiquillaca como pasivo ambiental en estado inactivo; obteniendo como resultado en base a los ya mencionados dos impactos significativos negativos y un impacto negativo moderado relevante; un 74.67% de riesgo ambiental en el entorno humano, 57.33% de riesgo ambiental en el entorno natural y 40.00% para el entorno socioeconómico, teniendo como promedio aritmético 57.33% de riesgo ambiental, el cual corresponde en la escala de evaluación de riesgo ambiental como “moderado”.

Palabras Claves: Ambiente, contaminación, relave, riesgo, valoración.



ABSTRACT

The project have as objective assess the environmental risk of the mining-metallurgical tailings of the Tiquillaca beneficiation plant, UNA-Puno. Definitely mining tailings without a management system or a contingency plan have the potential to cause damage to the environment, we seek an environmentally friendly mining, as indicated (Liao G, Liao D, & Li Q, 2008); The results of the heavy metal and metalloid (As), analysis indicated high values in ppm of (As), 474.74; 177.72; 306.99 y 203.54; (Cd), 120.29; 31.96; 36.56 y 114.11; (Cr), 16.83; 11.99; 55.88 y 41.69; (Cu), 495.4; 238.8; 1449 y 1815; (Pb), 7636; 2446; 10000 y 10000; (Zn), 8791; 3556; 5377 y 9185, It should be noted that Cu, Fe, Pb and Zn are rescued from these mentioned elements as elements of economic interest, which are elements with the potential to cause damage, due to their toxicity, to the environment and human health, as indicated in the RIAM valuation, having two significant negative impacts: Modification of water quality by tailings erosion and modification of water quality due to the increase of heavy metals in their concentration as well as a relevant moderate negative impact: modification of the quality of the air by dispersion of heavy metals produced by climatic conditions. The tailings are in a state of superficial crust (due to dryness), consequently erosion of the same occurs and this is finally transported by different winds to the conclusion that there is an environmental risk due to the CIP Tiquillaca tailings. as an environmental liability in an inactive state; obtaining as a result based on the aforementioned two significant negative impacts and a relevant moderate negative impact; 74.67% of environmental risk in the human environment, 57.33% of environmental risk in the natural environment and 40.00% for the socioeconomic environment, with an arithmetic average of 57.33% of environmental risk, which corresponds to the scale of environmental risk assessment as "moderate".

Keywords: Environment, pollution, tailings, risk, assessment.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Las industrias extractivas, predominantemente mineras, han catalizado un crecimiento económico significativo a nivel nacional, Sin embargo, también se han topado con la oposición y la resistencia de muchas comunidades locales (Paredes, 2016), este conflicto minero se origina principalmente por el temor a la irresponsabilidad ambiental, siendo la mala disposición y control de sus relaves la principal fuente de contaminación ambiental ocasionado por actividades mineras, de ahí que se tuvo la iniciativa de desarrollar este proyecto titulado “Evaluación de riesgo ambiental del relave minero metalúrgico de la planta de beneficio – Tiquillaca UNA – Puno”; Debido a la complejidad del problema, se pueden investigar y monitorear de forma exhaustiva la evolución de los relaves mineros y sus impactos en el medio ambiente (Grangeia, Ávila, Matias, & da Silva, 2011), Los relaves mineros a menudo contienen altas concentraciones de tóxicos elementos cuya movilidad puede suponer un riesgo para el medio ambiente y ecosistemas circundantes (Favas, Pratas, Gomes, & Cala, 2011), (Luthfiana U & Riniarti M, 2020), resaltando la necesidad de estudiar y comprender el comportamiento de los relaves mineros, ya que se tiene una relación entre la concentración de metales pesados y metaloides con el riesgo ambiental (Nierwinski, 2019). Este proyecto pretende identificar el área cercana al relave, para después hacer un muestreo al relave de la planta concentradora de Tiquillaca; estas muestras serán llevadas a laboratorio metalúrgico y con los resultados se evaluará los posibles impactos ambientales y el riesgo ambiental ocasionado; todo esto es posible con la ayuda de matrices (que ya están determinadas para la identificación de impactos), y la actual normativa ambiental peruana.

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las actividades mineras en el departamento de Puno tiene una larga tradición que data desde la época colonial (J. R. Kuramoto, 2002), sin embargo recientemente existe una preocupación medioambiental y por ende se pretende evaluar diferentes daños provocados por esta actividad, ya se consideraron alternativas para minimizar el daño y volumen de estos relaves, Pegar relleno (PBF) es una de las soluciones ingeniosas para minimizar la cantidad de relaves para almacenar. PBF es básicamente definido como una combinación de relaves de procesamiento de mina, aglutinante y mezcla de agua (Khaldoun, Ouadif, Baba, & Bahi, 2016), sin embargo esta no es muy amigable con el



medio ambiente y tiende a tener un riesgo ambiental a largo plazo, se sabe también que para saber la caracterización de los relaves se recurre a una metodología, evaluándolo principalmente mediante la realización de análisis químicos (Gu, 2018), se realizó un trabajo de investigación acerca de la intoxicación de metales pesados a partir de relaves en Pasco, ya que se tiene un cierto grado de contaminación ambiental producida por la explotación minera artesanal e informal (Astete et al., 2009), se realizó estudios en el Lago Titicaca, demostrando que existe afecciones a la fauna (existente en el lago), debido a relaves mineros (Gammons et al., 2006).

Un estudio en el sur de China determino que existe un gravísimo riesgo ambiental por relaves, se determinó que los suelos superficiales de las tierras de cultivo que rodean el distrito minero estaban moderadamente o gravemente contaminados, mientras que el riesgo ecológico potencial de la contaminación por metales pesados era extremadamente alto (Sun, Xie, Wang, Hu, & Cheng, 2018). La biorremediación es una alternativa que se propondrá en consecuencia de los posibles riesgos ambientales ocasionados por el relave minero – metalúrgico, es una opción que emplea las estrategias que los microorganismos han desarrollado para tratar ciertos metales pesados (McCarthy et al., 2017).

(Guillen, 2001), Hace referencia al uso de la caracterización del relave en estado de abandono, con el fin de ver las implicancias ambientales y el comportamiento físico - químico de este, también menciona que, para desarrollar un cierre de depósitos de relave, es necesario describir este relave.

(Romero & Flores, 2008), Este es un estudio que se hizo en un relave abandonado de Ticapampa - Huaraz, mostrando la importancia del análisis de los metales pesados, presentes en un relave; ya que este es un pasivo ambiental, producto de operaciones minero – metalúrgicas por flotación.

(Jara Facundo, 2011), Indica que la actividad minera no solo es influyente en la economía peruana, sino también en diferentes afecciones medio ambientales; este estudio realizado por el INGEMMET, comenta del método de extracción química secuencial de metales pesados del relave de mina en Ticapampa, mencionado anteriormente.

(Astuhum, Bueno, & Pomalaza, 2013), La caracterización metalúrgica y ambiental del relave, no solo es importante en pasivos ambientales, sino también en relaves activos, ya que estos nos darán una descripción constante de nuestras operaciones



en plantas minero – metalúrgicas; en este trabajo no solo caracterizaron el relave, también dieron una propuesta de remediación a largo plazo en la planta experimental de Yauris.

De acuerdo a la evaluación del índice de riesgo ecológico de Hakanson, el riesgo potencial por coeficientes individuales de metales se clasificaron de la siguiente manera: Cd> Cu> Zn> Pb. (X. H. Shu, Zhang, Lu, Yi, & Dang, 2018), correspondiendo estos por lo general a la industria minería extractiva polimetálica; se ha prestado mayor atención a la eliminación de los pasivos ambientales a fin de reducir los impactos negativos de los pasivos relacionados con la salud pública, la flora y la fauna y la actividad económica (Edraki & Unger, 2015).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Enunciado del problema

¿Cómo caracterizar y evaluar el riesgo ambiental del relave minero metalúrgico de la planta de beneficio – Tiquillaca Una – Puno?

Interrogante del problema

- ¿Qué características del relave de la planta concentradora de Tiquillaca UNA – Puno provocan riesgo ambiental?

1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Tipo de investigación: Este proyecto de investigación se desarrollará con un tipo de investigación “Aplicada”.

Nivel de investigación: El nivel de investigación será “Experimental”.

Variables:

Variable dependiente: Riesgo ambiental

Variable independiente: Relave minero metalúrgico.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y evaluar el riesgo ambiental del relave minero – metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA –Puno.



1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los resultados de la caracterización del relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, Una - Puno, con la normativa peruana y la normativa holandesa (como referencia).
- Valorar los impactos ambientales a partir de la evaluación del riesgo producido por el relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, Una - Puno, haciendo uso de la Matriz de Evaluación de Impacto Rápida.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

LEY N° 28271, Que tiene como objetivo, regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera así como el DECRETO SUPREMO N° 011 -2017-MINAM, estándares de calidad ambiental (ECA), para suelo; Todo proceso minero-metalúrgico deja como producto final residuos combinados con gangas y en la mayoría de casos combinado con reactivos; estos se llaman “relaves”, que representan una fuente de contaminantes tóxicos, que pueden extenderse a las áreas circundantes (Fellet, Marchiol, Delle Vedove, & Peressotti, 2011), (Liu et al., 2007), estos representan aproximadamente un 6% de los problemas ambientales actuales, (INEI, 2013), se caracterizan por pH bajo y alta concentración de metales pesados (W. S. Shu, Ye, Lan, Zhang, & Wong, 2001), estos metales pesados pueden representar una amenaza potencial a largo plazo para los ecosistemas y la salud humana (Salinas-Rodríguez et al., 2016), considerando que la exposición crónica a relaves mineros representa un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades dermatológicas no infecciosas tanto en adultos como en niños (Ramos et al., 2008); muchos relaves, por lo general antiguos no tuvieron una caracterización correspondiente ni una evaluación periódica, por ende se tienen consecuencias biológicas, químicas o físicas (Pedersen & Losher, 2012), los cuales muchas veces no tienen un tratamiento adecuado, dejándolos a la intemperie y con probabilidad de riesgos medio ambientales. Es necesario saber las características de estos relaves, para predecir posibles problemas ambientales; sabiendo que generalmente contienen altas concentraciones de metales pesados y tienen baja fertilidad (Conesa, Faz, & Arnaldos, 2006), en zonas áridas y semiáridas, la erosión puede ser un problema adicional es el caso de la planta concentradora de Tiquillaca – UNA, Puno; para lo cual es necesaria una caracterización de su relave.



1.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Al caracterizar y evaluar las muestras del relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, nos indican que existen riesgos ambientales.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- Luego de caracterizar las muestras del relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca – UNA, se obtendrá un elevado riesgo ambiental.
- Al realizar la valoración del relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, estas contaminan el medio ambiente de la zona.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO LEGAL VIGENTE

Constitución política del Perú 1993

Título I, Capítulo I – Art. 2.- Derechos fundamentales de la persona

“A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un **ambiente equilibrado** y adecuado al desarrollo de su vida.”

Título III, Capítulo II: Del ambiente y los recursos naturales.

Título IV, Capítulo XIV – Art. 192.- Los gobiernos regionales promueven el desarrollo y la economía regional, fomentan las inversiones, actividades y servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y locales de desarrollo.

Art. 195.- Los gobiernos locales promueven el desarrollo y la economía local, y la prestación de los servicios públicos de su responsabilidad, en armonía con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo.

“Promover y regular actividades y/o servicios en materia de agricultura, pesquería, industria, agroindustria, comercio, turismo, energía, minería, vialidad, comunicaciones, educación, salud y medio ambiente, conforme a ley”

Normas concordadas con la constitución política del Perú.

Ley N° 26821 (26.06.1997)

Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Ley N° 27446 (23.04.2001)

Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.

Ley N° 28611 (15.10.2005)

Ley General del Ambiente.

Ley N° 30222, ley que modifica a la ley 29783.



Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Ley N° 28271

Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.

D.S. N° 011 – 2017 – MINAM

Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA), para suelo.

D.S. N° 012 – 2017 – MINAM

Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados.

D.S. N° 002 – 2009 – MINAM

Decreto supremo que aprueba el reglamento sobre transparencia, acceso a la información pública ambiental y participación y consulta ciudadana en asuntos ambientales.

D.S. N° 003 – 2009 – MEM

Modificatoria del reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera.

D.S. N° 058 – 99 – EM

Modificación del reglamento para la protección ambiental en las actividades minero – metalúrgicas.

D.S. N° 059 – 2005 – EM

Aprueban Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera

LMP sedimentos (Ministerie VROM-1983)

Normativa Holandesa (LMP), para sedimentos y suelos.

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

2.2.1. RELAVE MINERO

Los relaves son los desechos producidos después de la extracción del metal seleccionado del mineral mediante trituración y molienda para obtener partículas que consisten en un mineral y separar los minerales por sus características físicas o de superficie (Ramirez-Llodra et al., 2015), aunque la palabra "relave" es genérico, ya que describe el subproducto de varias industrias extractivas, incluidas las de aluminio, carbón,



arenas petrolíferas, uranio y metales preciosos y básicos (Kossoff et al., 2014), este a la vez es uno de los problemas ambientales y las cargas económicas más importantes de la minería industrial, por las vastas cantidades de desechos producidos, los relaves de las minas incluyen las partículas de grano fino de mineral y residuos de reactivos químicos, todo como parte de una suspensión del mineral de mina, es decir, mineral extraído de mina de tajo abierto o minería subterránea (Vogt, 2014), una alternativa para usarlo es el reprocesamiento teniendo el potencial de brindar una oportunidad económica para rehabilitar sitios históricos en formas de relieve estables (Franks, Boger, Côte, & Mulligan, 2011), Dado que los procesos mineros tienen el potencial de impactar a un grupo diverso de entidades ambientales, y son de interés para una amplia gama de grupos de accionistas, existe una gran oportunidad para que la industria opere de forma más sostenible (Hilson & Murck, 2000), Los relaves tienen el potencial de transformarse de desechos peligrosos en fuentes de metales secundarios potencialmente valiosas (Kinnunen, 2019).

2.2.2. CANCHA DE RELAVE

Es el lugar donde se depositan los relaves que por lo general han sido depositados en sistemas acuáticos costeros o terrestres durante al menos dos milenios, históricamente sin tener en cuenta las consecuencias biológicas, químicas o físicas de tal disposición (Pedersen & Losher, 2012).

2.2.3. PASIVO AMBIENTAL

Si bien existen PAMs (Pasivos Ambientales Mineros), en todas las regiones del Perú, la mayoría de ellos se encuentran en las regiones de Ancash, Cajamarca y Puno, con más de 1.000 PAMs en cada una de estas regiones, los riesgos evaluados para la priorización de los PAMs corresponden a temas de seguridad, riesgos asociados a la salud humana, el ambiente físico y riesgos a la fauna silvestre y la conservación (Oblasser, 2016), Los desechos de la mina depositados en la tierra en los llamados diques de relaves, embalses o vertederos tienen varios problemas ambientales asociados que deben abordarse (por ejemplo, la formación de drenaje ácido de la mina debido a la oxidación del sulfuro, la estabilidad geotécnica, entre otros) y las preocupaciones sociales debido al uso del suelo durante la minería (Dold, 2014), La acidificación también es una limitación importante para la revegetación de los relaves de la mina, que es un método común y rentable para estabilizar y controlar la contaminación derivada de los relaves de la mina

(Bradshaw & Chadwick, 1980), En el pasado, los relaves se vertían en ríos o humedales (Hudson-Edwards, Jamieson, & Lottermoser, 2011), teniendo el potencial de dejar legados ambientales, sociales y económicos durante miles de años (Kempton, Bloomfield, Hanson, & Limerick, 2010), sin embargo las nuevas tecnologías e innovaciones, como los relaves espesados, el apilado en seco y el relleno de pasta, han aumentado considerablemente los métodos de eliminación de desechos disponibles para enfrentar los desafíos futuros del desarrollo sostenible (Franks et al., 2011).

Cronograma de la legislación con respecto a la gestión de PAMs en Perú

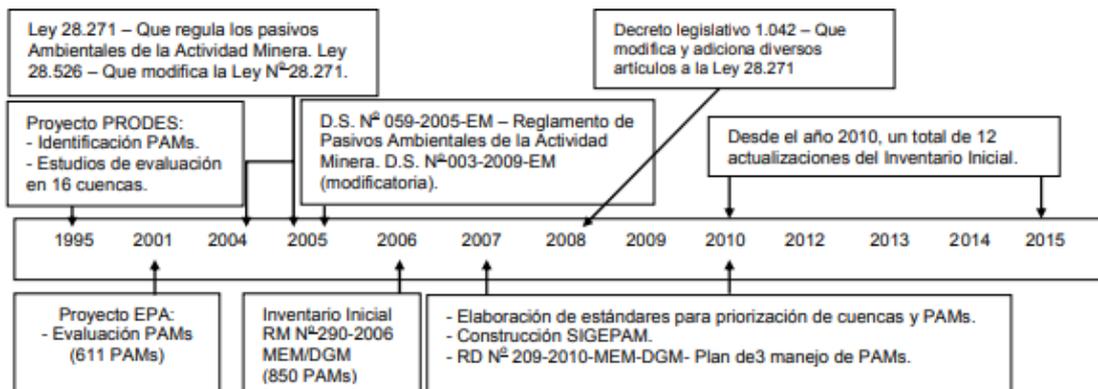


Figura N° 01. Legislación de pasivo ambiental minero en Perú

Fuente: Serie Medio Ambiente y Desarrollo (CEPAL, 2016)

2.2.4. METALES PESADOS

Los metales pesados son sustancias ubicuitarias, han sido utilizados por los humanos durante miles de años (Järup, 2003), muy persistentes en el ambiente, que presentan fenómenos de acumulación en los ecosistemas y en los seres vivos que los habitan (García-Fernández et al., 2005), El aluminio y casi todos los metales pesados están mucho más disponibles para la absorción de las plantas y la entrada a la cadena alimentaria en suelos ácidos que en suelos neutros o alcalinos (Morris & Therivel, 1995)

2.2.5. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La contaminación por metales pesados en los suelos se ha convertido en un grave problema ambiental, principalmente en localidades con alta industrialización y rápido crecimiento (Weissmannová, Miho, & Chovanec, 2019) ,la cuestión de cuánta contaminación por metales puede ocurrir antes de dañar un ecosistema es bastante pertinente, especialmente porque, en condiciones apropiadas, los niveles ambientales naturales de metales traza (Anderson & Morel, 1978), cualquier aumento por encima de



las concentraciones naturales puede tener efectos perjudiciales (Engel, Sunda, & Fowler, 2012), como la obstrucción de las branquias en especies o la inestabilidad del sustrato son responsables de la disminución en muchos taxones afectados por los relaves (Burd, 2002), Pese a que los riesgos de la exposición a los metales pesados son conocidos, el problema sigue vigente especialmente en los países en desarrollo (Järup, 2003), los métodos de monitoreo ambiental son esenciales para la exposición a la contaminación por metales pesados (Yang, Huang, Cheng, Qi, & Zhang, 2019).

2.2.6. METALES PESADOS EN RELAVES MINEROS.

Los metales pesados como el Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg, y algunos reactivos químicos utilizados en las plantas de tratamiento de minerales, en el corto plazo no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza; por lo que son considerados tóxicos para la mayor parte de organismos (Chiang, 1989), los compuestos que contienen metales pesados, se pueden alterar, pero los elementos metálicos permanecen en el ambiente, pudiendo ser acumulados como iones o como integrantes de compuestos orgánicos en los organismos por largos períodos de tiempo (Campos, 1990), estos pueden variar en severidad dependiendo de si la mina está funcionando o está abandonada, los métodos de tratamiento utilizados, y la condiciones geológicas (Bell, Bullock, Hällich, & Lindsay, 2001), por ejemplo el arsénico es un contaminante común en relaves y efluentes resultantes del procesamiento metalúrgico de minerales (Paktunc, Foster, Heald, & Laflamme, 2004).

2.2.7. VALORACIÓN AMBIENTAL.

Esta herramienta permite asignar valor a los servicios ambientales y, de esta manera, integrar el ambiente en la toma de decisiones (Angelina, Martínez, & Bringas, 2010).

2.2.8. RIESGO AMBIENTAL POR LA ACTIVIDAD MINERA.

Probabilidad o posibilidad de que un contaminante pueda ocasionar efectos adversos a la salud humana, en los organismos que constituyen los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua, en función de las características y de la cantidad que entra en contacto con los receptores potenciales, incluyendo la consideración de la magnitud o intensidad de los efectos asociados y el número de individuos, ecosistemas o



bienes que, como consecuencia de la presencia del contaminante, podrían ser afectados tanto en el presente como en el futuro (D.S. N° 059 - 2005 - EM).

En la actualidad los relaves estos han sido abandonados o permanecen inactivos; lo cual constituye un riesgo ambiental permanente y potencial (Rodríguez, Estupiñán, Iglesias, & Castillo, 2007).

2.2.9. MATRIZ RÁPIDA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (RIAM).

El método de la Matriz de evaluación de impacto rápido (RIAM) se basa en una definición estándar de los criterios de evaluación importantes, así como en los medios por los cuales los valores semicuantitativos para cada uno de estos criterios se pueden cotejar para proporcionar una puntuación precisa e independiente para cada condición (Christopher M. & Jensen, 1998), El sistema es ideal para un E.I.A., donde se utiliza un enfoque de equipo multidisciplinario (Morris & Therivel, 1995).

2.2.10. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES.

Son definidos por la legislación ambiental peruana como “la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente” (Ley N° 28611), la característica más importante de los LMP, es que su cumplimiento es exigible legalmente; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción. (MINAM, 2010a).

2.2.11. ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL.

Es 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 (Ley N° 28611).

2.2.12. MÉTODO DE ENSAYO ICP – OES

Los metales mencionados en el **Anexo N° 1**, fueron analizados por Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L. mediante el método Inductively Coupled Plasma Optical Emisión Spectrometry con sus siglas en ingles ICP - OES Espectrometría de Emisión



con fuente de Ionización, En las espectrometrías de emisión, como es el caso de la espectrometría mencionada, los átomos en su estado fundamental son excitados a estados energéticos superiores denominados estados excitados. Dichos átomos o iones excitados son inestables y tienden a volver a su estado fundamental, devolviendo la energía absorbida en forma de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda características. Las frecuencias de las radiaciones emitidas están relacionadas directamente con la configuración electrónica y con la energía que proporciona la fuente de excitación. Cada elemento, por tanto, produce un conjunto de radiaciones a longitudes de onda fijas (líneas) que constituyen su espectro atómico característico, como lo menciona el centro de apoyo a la investigación de técnicas geológicas de la Universidad Complutense Madrid (UCM).

(Olesik, 2000), menciona que este método cuenta con los siguientes atributos:

- Análisis rápido, simultáneo y multielemento,
- Límites de detección bajos (ppm o menos para algunos elementos)
- Efectos de matriz de interelementos relativamente pequeños
- Amplio rango dinámico lineal (hasta 5 o 6 órdenes de magnitud)
- Alta precisión (0.5% -5%)
- Aplicable para análisis de gases, líquidos o sólidos.

Y sus problemas son:

- Interferencias espectrales
- Efectos matriciales de las especies concomitantes
- Efectos matriciales del solvente
- Dificultad para analizar sólidos sin disolución
- Introducción de muestra ineficiente
- Los límites de detección son demasiado altos para algunos aplicadores.
- Deriva y precisión insuficiente para algunas aplicaciones.

2.2.13. VALORACIÓN AMBIENTAL

Es una herramienta que permite reconocer, cuantificar e internalizar los beneficios actuales y potenciales de los servicios que proveen los ecosistemas. Como consecuencia de los cambios en su cantidad o calidad, a través de la estimación del bienestar que éstos



producen en la sociedad teniendo como objetivo “Equilibrar los procesos de compensación en los planes de manejo ambiental de los EIAs”.

Algunos usos de la valoración ambiental son:

- Análisis de costo – beneficio.
- Contabilidad ambiental.
- Determinar que el patrimonio natural es importante para la sociedad.
- Establecer prioridades de inversiones sectoriales y nacionales.
- Evaluar los impactos y daños ambientales.
- Establecer multas y sanciones.
- Determinar valores para el diseño de instrumentos económicos.

Existen una serie de metodologías para las evaluaciones de impacto ambiental, todas ellas priorizan los impactos y a partir de ellos determinar cuáles son significativos, algunas metodologías incluso, permiten identificar y valorar, Lo importante es que estas metodologías se encuentren validadas por autores reconocidos o por trabajos de vista de investigación que las validen.

Matriz Causa – Efecto

Las matrices de causa-efecto consisten en un listado de acciones humanas y otro de factores ambientales, que se relacionan en un diagrama matricial esta matriz se construye a partir de las listas de Chequeo (Check List).

Tienen limitaciones para establecer interacciones, definir impactos secundarios, terciarios y realizar consideraciones temporales o espaciales, sin embargo, son muy útiles cuando se trata de identificar el origen de ciertos impactos.

Matriz de Moore

Es una matriz simplificada para la evaluación de impactos que consta de dos listas cruzadas entre sí: una lista de las “Acciones” del proyecto, durante sus diferentes fases (preinversión, construcción, operación y abandono); y una lista de los “Componentes del ambiente”, el cruce de ambas listas produce la interacción de las celdas entre acción (proyecto), y componente ambiental (ambiente), proporcionando una síntesis visual de los impactos ambientales del proyecto.



Matriz de Leopold

Consiste en un listado de 100 acciones que pueden causar impactos ambientales y 88 características ambientales, teniendo como resultado una combinación de 8800 casilleros en una matriz, en cada casillero se distingue entre magnitud e importancia del impacto, utilizados en una escala que va de uno a diez.

La magnitud del impacto hace referencia a su cantidad física; si es grande o pequeño dependerá del patrón de comparación y puede tener el carácter de positivo o negativo; mientras que la importancia del impacto solo puede recibir valores positivos, queda dada por la ponderación que se le asigne y puede ser muy diferente de la magnitud.

Método del Banco Mundial

Este método utiliza 7 criterios para establecer la valoración de los impactos ambientales.

1. Carácter (C). - positivo, negativo y neutro, considerando a estos últimos como aquel que se encuentra por debajo de los umbrales de aceptabilidad contenidos en las regulaciones ambientales.
2. Grado de perturbación (P). - En el medio ambiente, clasificado como: importante, regular y escasa.
3. Importancia (I). - Desde el punto de vista de los recursos naturales y la calidad ambiental, clasificados como: alto, medio y bajo.
4. Riesgo de ocurrencia (O). - Entendido como la probabilidad que los impactos estén presentes, clasificado como: muy probable, probable y poco probable.
5. Extensión o territorio involucrado (E). - clasificado como: regional, local o puntual.
6. Duración (D). - A lo largo del tiempo, clasificado como: permanente o duradera en toda la vida del proyecto, media o duradera la operación del proyecto y corta o durante la etapa de construcción del proyecto.
7. Reversibilidad (R). - Para volver a las condiciones iniciales, clasificado como: “reversible” si requiere ayuda humana, “parcial” si requiere ayuda humana, e “irreversible” si se debe generar una nueva condición ambiental.

Método de Conesa

Este método utiliza 11 atributos para establecer la valoración de los impactos ambientales.



1. **Carácter del impacto o Naturaleza.** - Los impactos pueden ser beneficiosos o perjudiciales. Los primeros son caracterizados por el signo positivo, los segundos se los expresan como negativos.
2. **Magnitud/Intensidad.**-Representa la incidencia de la acción causal sobre el factor impactado en el área en la que se produce el efecto. Para ponderar la magnitud, se considera:
Baja = 1
Media baja = 2
Media alta = 3
Alta = 4
Muy alta = 8
3. **Extensión.** - El impacto puede ser localizado (puntual) o extenderse en todo el entorno del proyecto o actividad (se lo considera total).
La extensión se valora de la siguiente manera:
Impacto Puntual = 1
Impacto parcial = 2
Impacto extenso = 4
Impacto total = 8
4. **Momento.** Se refiere al tiempo transcurrido entre la acción y la aparición del impacto. Para poder evaluar los impactos diferidos en el tiempo se necesita de modelos o de experiencia previa.
El momento se valora de la siguiente manera:
Inmediato = 4
Corto plazo (menos de un año) = 4
Mediano plazo (1 a 5 años) = 2
Largo plazo (más de 5 años) = 1
5. **Persistencia.** - Se refiere al tiempo que el efecto se manifiesta hasta que se retorne a la situación inicial en forma natural o a través de medidas correctoras.
Los impactos se valoran de la siguiente manera:
Fugaz = 1
Temporal (entre 1 y 10 años) = 2
Permanente (duración mayor a 10 años) = 4
6. **Reversibilidad.** - Este atributo está referido a la posibilidad de recuperación del componente del medio o factor afectado por una determinada acción. Se considera



únicamente aquella recuperación realizada en forma natural después de que la acción ha finalizado. Cuando un efecto es reversible, después de transcurrido el tiempo de permanencia, el factor retornará a la condición inicial.

Se asignan, a la Reversibilidad, los siguientes valores:

Corto plazo (menos de un año) = 1

Mediano plazo (1 a 5 años) = 2

Irreversible (más de 10 años) = 4

7. Recuperabilidad. - Mide la posibilidad de recuperar (total o parcialmente), las condiciones de calidad ambiental iniciales como consecuencia de la aplicación de medidas correctoras.

La Recuperabilidad se valora de la siguiente manera:

Si la recuperación puede ser total e inmediata = 1

Si la recuperación puede ser total a mediano plazo = 2

Si la recuperación puede ser parcial (mitigación) = 4

Si es irrecuperable = 8

8. Sinergia. - Se refiere a que el efecto global de dos o más efectos simples es mayor a la suma de ellos, es decir a cuando los efectos actúan en forma independiente.

Se le otorga los siguientes valores:

Si la acción no es sinérgica sobre un factor = 1

Si presenta un sinergismo moderado = 2

Si es altamente sinérgico = 4

9. Acumulación. - Se refiere al aumento del efecto cuando persiste la causa (efecto de las sustancias tóxicas).

La asignación de valores se efectúa considerando:

No existen efectos acumulativos = 1

Existen efectos acumulativos = 4

10. Efecto. - El impacto de una acción sobre el medio puede ser “directo” es decir impactar en forma directa, o “indirecto”, es decir se produce como consecuencia del efecto primario el que, por tanto, devendría en causal de segundo orden.

A los efectos de la ponderación del valor se considera:

Efecto secundario = 1

Efecto directo = 4

11. Periodicidad. - Este atributo hace referencia al ritmo de aparición del impacto.

Se le asigna los siguientes valores:



Si los efectos son continuos = 4

Si los efectos son periódicos = 2

Si son discontinuos = 1

Conesa Fernández Vítora expresa la “importancia del impacto” a través de:

$I = \pm (3 \text{ Magnitud} + 2 \text{ Extensión} + \text{Momento} + \text{Persistencia} + \text{Reversibilidad} + \text{Recuperabilidad} + \text{Sinergia} + \text{Acumulación} + \text{Efecto} + \text{Periodicidad})$

Método de RIAM (Matriz de Evaluación de Impacto ambiental Rápida)

Su método busca superar los problemas de registrar juicios subjetivos definiendo los criterios y escalas contra los cuales se deben hacer estos juicios; y colocando los resultados en una matriz simple que permita un registro permanente de los argumentos en el proceso de juicio; El método de la Matriz de evaluación de impacto rápido (RIAM) se basa en una definición estándar de los criterios de evaluación importantes, así como en los medios por los cuales los valores semicuantitativos para cada uno de estos criterios se pueden cotejar para proporcionar una puntuación precisa e independiente para cada condición. Los impactos de las actividades del proyecto se evalúan en relación con los componentes ambientales, y para cada componente se determina una puntuación (utilizando los criterios definidos), que proporciona una medida del impacto esperado del componente (Christopher M., 1998)

Los criterios de evaluación importantes se dividen en dos grupos:

(A) Criterios que son importantes para la condición y que pueden cambiar individualmente el puntaje obtenido.

(B) Los criterios que son de valor para la situación, pero individualmente no son capaces de cambiar la puntuación obtenida.

Los impactos positivos y negativos se pueden demostrar mediante el uso de escalas que pasan de valores negativos a positivos a través de cero para los criterios del grupo (A). Por lo tanto, cero se convierte en el valor "sin cambio" o "sin importancia". El uso de cero de esta manera en los criterios del grupo (A) permite que un solo criterio aísle las condiciones que no muestran cambios o que no son importantes para el análisis. Cero es un valor evitado en los criterios del grupo (B). Si todos los criterios del grupo (B) obtienen un puntaje cero, el resultado final del ES también será cero. Esta condición puede ocurrir incluso cuando los criterios del grupo (A) muestran una condición de



importancia que debe reconocerse. Para evitar esto, las escalas para los criterios del grupo (B) usan "1" como puntaje de "sin cambio o sin importancia".

Se cumplieron dos principios para desarrollar los criterios en el método RIAM:

1. La universalidad del criterio, para permitir su uso en diferentes EIA.
2. El valor del criterio, que determina si debe tratarse como una condición de Grupo (A) o Grupo (B).

Por lo tanto, lo se desarrollaron cinco criterios:

Criterios del grupo (A)

(A1) Importancia de la condición. - Una medida de la importancia de la condición, que se evalúa contra los límites espaciales o los intereses humanos que afectará. Las escalas están definidas:

4 = importantes para los intereses nacionales / internacionales

3 = importantes para los intereses regionales / nacionales

2 = importante para áreas inmediatamente fuera de la condición local

1 = importante solo para la condición local

0 = sin importancia.

(A2) Magnitud de cambio / efecto. - La magnitud se define como una medida de la escala de beneficio / des-beneficio de un impacto o una condición:

+ 3 = principales beneficios positivos

+ 2 = mejoras significativas en el status quo

+ 1 = mejora en el status quo

0 = sin cambios / status quo

- 1 = cambio negativo al status quo

- 2 = beneficios o cambios negativos significativos

- 3 = principales beneficios o cambios.



Criterios del grupo (B)

(B1) Permanencia. - Esto define si una condición es temporal o permanente, y debe verse solo como una medida del estado temporal de la condición (por ejemplo: un terraplén es una condición permanente incluso si algún día puede ser violado o abandonado; mientras que una presa de cofre es una condición temporal, ya que se eliminará).

1 = sin cambio / no aplicable

2 = temporales

3 = permanentes.

(B2) Reversibilidad. - Esto define si la condición se puede cambiar y es una medida del control sobre el efecto de la condición. No debe confundirse ni equipararse con la permanencia. (Por ejemplo: un derrame tóxico accidental en un río es una condición temporal (B1) pero su efecto (muerte) es irreversible (B2); el tratamiento de aguas residuales de una ciudad es una condición permanente (B1), el efecto de su efluente puede ser cambiado (condición reversible (B2)).

1 = sin cambio / no aplicable

2 = reversibles

3 = irreversible.

(B3) Acumulativo. - Esta es una medida de si el efecto tendrá un solo impacto directo o si habrá un efecto acumulativo con el tiempo, o un efecto sinérgico con otras condiciones. El criterio acumulativo es un medio para juzgar la sostenibilidad de una condición y no debe confundirse con una situación permanente / irreversible. Por ejemplo, la muerte de un animal viejo es permanente e irreversible, pero no acumulativa, ya que se puede considerar que el animal ya ha pasado sus capacidades de reproducción. La pérdida de camarones post larvales en la naturaleza también es permanente e irreversible, pero en este caso acumulativa, ya que todas las generaciones posteriores que las larvas (como adultos) pueden haber iniciado también se habrán perdido.

1 = sin cambio / no aplicable

2 = no acumulativo / individual



3 = acumulativo / sinérgico

La suma de los puntajes del grupo (B) se multiplica por el resultado de los puntajes del grupo (A) para proporcionar un puntaje de evaluación final (ES) para la condición. El proceso se puede expresar:

$$\text{Valor de Impacto} = (A1 \times A2) (B1 + B2 + B3)$$

2.2.14. MATRIZ DEL RIESGO AMBIENTAL

Los principios de la matriz de riesgo descritos en esta Guía (SENACE, 2010) pueden ser aplicados a cualquier subsector industrial, incluyen tres categorías de riesgo:

1. Riesgos a la Salud Humana
2. Riesgos Ecológicos
3. Riesgos Económicos y Sociales.

Estas categorías se dividen a su vez en “elementos” de riesgo, que contienen medidas específicas que les permiten dividirse en cuatro “niveles” de riesgo:

- Sin Riesgo o Bajo Riesgo
- Riesgo Moderado
- Riesgo Significativo
- Riesgo Grave

2.2.15. EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

Proceso mediante el cual se determina un peligro o amenaza que comprometa la calidad del agua, aire o suelo el cual pone en riesgo a la salud del ser humano y a la biodiversidad como consecuencia de la exposición a fuentes contaminantes del ambiente en un lugar y tiempo determinado como consecuencia de actividades de origen natural o antropogénico (MINAM, 2010).

Las evaluaciones de riesgo ambiental constituyen una necesidad técnica, estiman los posibles daños ambientales que pudieran generarse por diversos factores tanto por la actividad humana como por origen natural. La normatividad peruana está ligada con la legislación internacional.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente trabajo de tesis, se empleó el uso de diferentes fuentes de información, haciendo uso de buscadores (Search engines), base de datos (Databases), sistemas de acceso a la información (Perú), y repositorios universitarios.

3.1.1. BASES DE DATOS Y BUSCADORES:

- EBSCOhost
- Google Scholar
- IEE Xplore
- NCBI (National Center for Biotechnology Information).
- SciELO
- Science Direct
- Scopus
- SpringerLink
- Web of Science

3.1.2. ACCESO A LA INFORMACIÓN SISTEMATIZADA:

- SUNAFIL (Superintendencia Nacional de Fiscalización Laboral).
- SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental).
- SPIJ (Sistema Peruano de Información Jurídica).

3.1.3. REPOSITARIOS UNIVERSITARIOS

- Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Repositorio institucional Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Repositorio digital de tesis de la Universidad Católica de Santa María.

3.1.4. GESTORES DE REFERENCIAS:

- Endnote
- Mendeley
-

3.2. TRABAJO DE CAMPO

3.2.1. LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó en la cancha de relave de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno, localizada en el centro poblado de “Sonsori”, perteneciente a la comunidad de Paxa, distrito de Tiquillaca, provincia de Puno y al sur oeste del departamento de Puno.



Figura N° 2. Mapa del departamento de Puno

Fuente: (MTC, 2017)

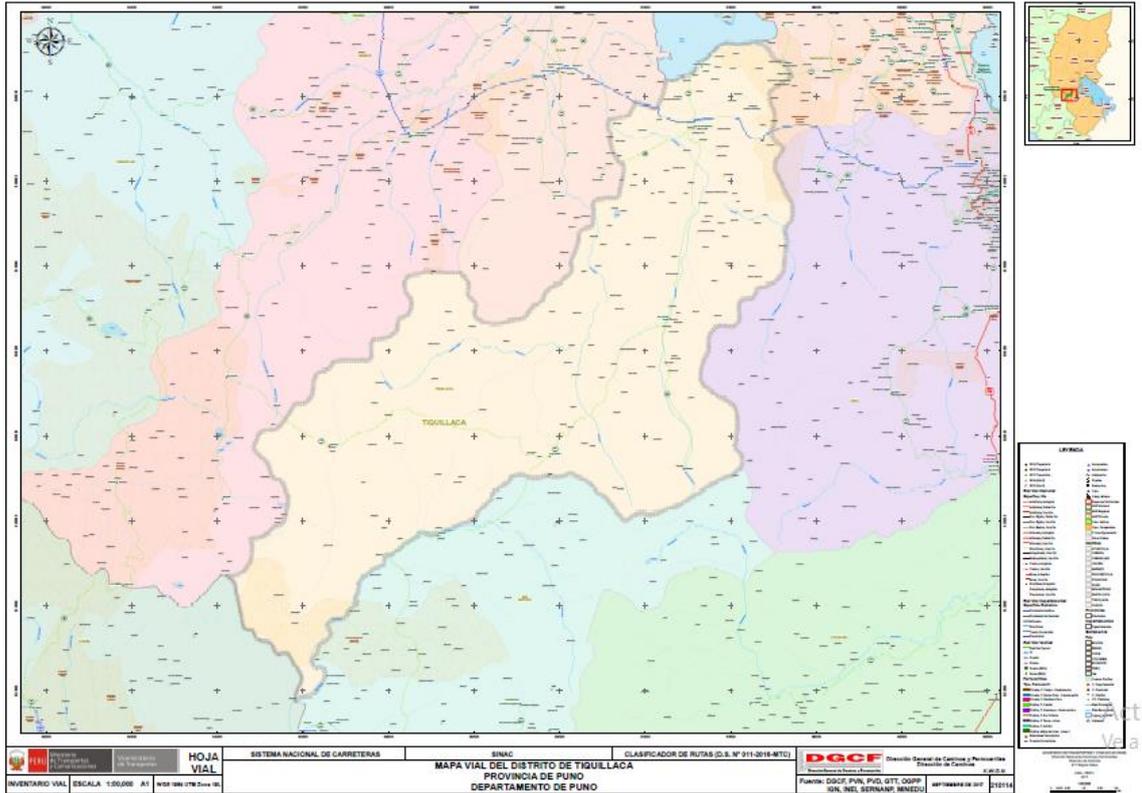


Figura N° 3. Mapa del distrito de Tiquillaca.

Fuente: (MTC, 2017)

Para llegar a la zona de investigación (Relavera del CIP Tiquillaca), y usando el sistema de geo posicionamiento de Google, se sigue la siguiente ruta:

Tabla N° 1 Ruta de acceso a la planta de beneficio de Tiquillaca.

De	A	Distancia (Km)	Tiempo (Min)
Ciudad de Puno	Distrito de Tiquillaca	25.3	41
Distrito de Tiquillaca	CIP Tiquillaca	7.5	11

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 4. Ruta a la zona de estudio, vía imagen satelital.

Fuente: Google Earth

La planta de beneficio de Tiquillaca se ubica con las siguientes coordenadas:

WGS84

Latitud S: 15° 51'
20.77''

UTM

X: 372764.4
Y: 8246657.8



Figura N° 5. Foto de la planta de beneficio, Tiquillaca, vía satelital.

Fuente: Google Earth



Figura N° 6. Planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno

Figura: Bryan R. Juárez



3.2.2. MATERIALES

Para esta investigación se emplearon los siguientes materiales, equipos y herramientas:

- Equipos de protección personal (Casco, Maluco, Respirador, guantes, zapatos de seguridad, lentes de seguridad, bloqueador solar)
- Pala
- Pico
- Comba
- Alicata
- Cuchara para albañil
- Wincha métrica
- Plumones
- Muestreador tubular
- Bolsas con cierre hermético
- Sacos de rafia
- Tijeras
- Cúter
- Cuaderno de apuntes
- Tablero
- Hojas
- Lapicero y lápiz
- Laptop



Figura N° 7. Materiales y herramientas de campo.

Figura: Bryan R. Juárez

3.2.3. DISEÑO DE LA TOMA DE MUESTRA

Primero se evaluó el área de trabajo, es decir considerando la ubicación de la cancha de relave y la antigüedad de procesamiento de mineral en la planta de beneficio Tiquillaca UNA - Puno.



Figura N° 8. Relavera de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno.

Figura: Bryan R. Juárez

Considere dividirlo en cuatro sectores: sector A, sector B, sector C y sector D; haciendo uso de la wincha métrica, marcadores y toma de medidas en una hoja bond, para posteriormente hacer el muestreo.



Figura N° 9. Trazado y dimensionamiento (Relavera).

Figura: Bryan R. Juárez

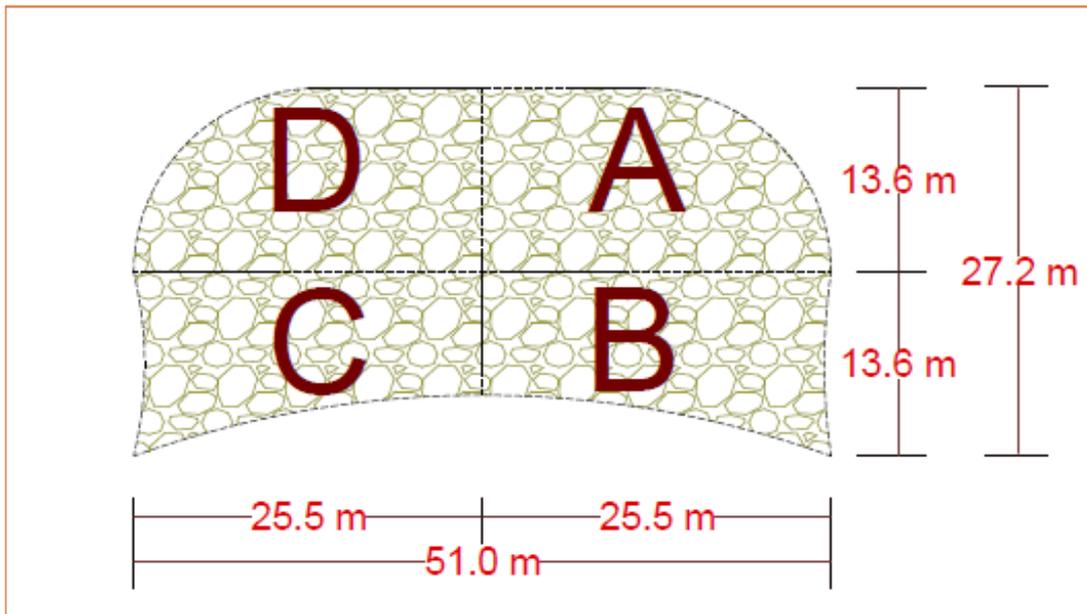


Figura N° 10. Sectorización de la relavera.

Fuente: Elaboración propia

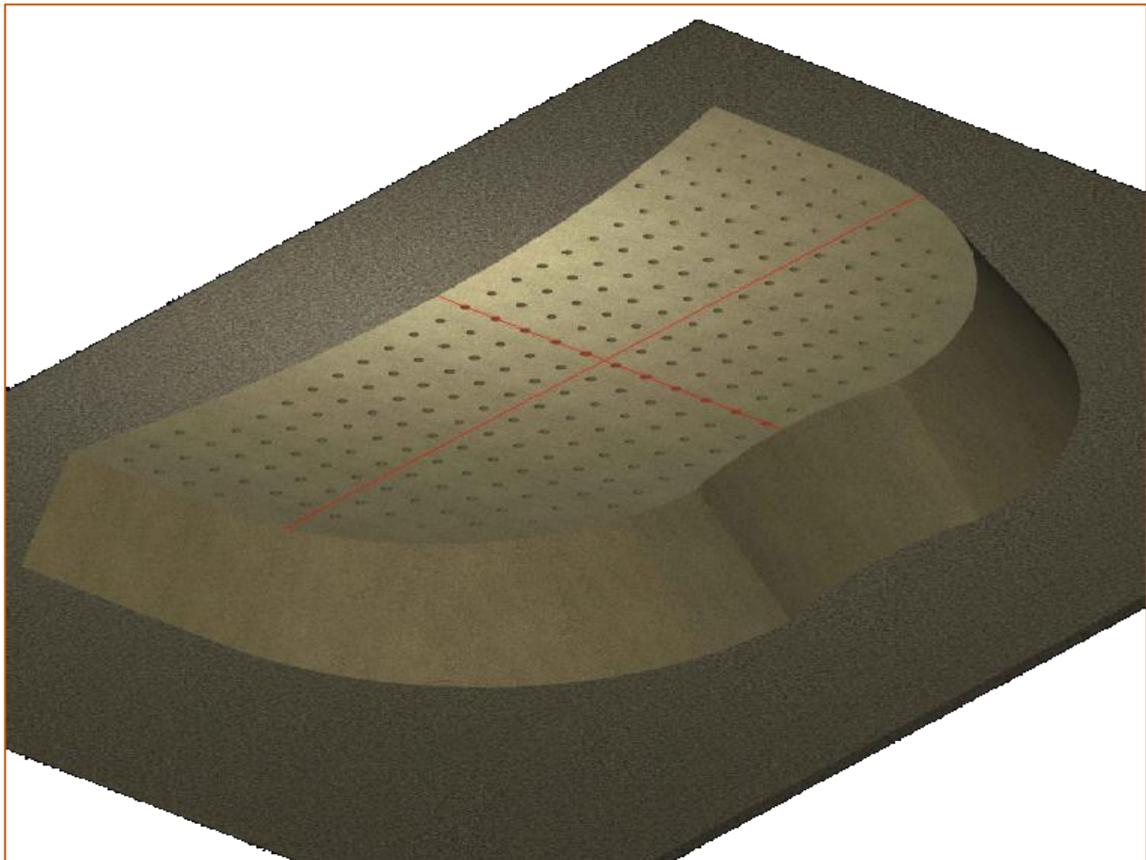


Figura N° 11. Relavera en 3D

Fuente: Elaboración propia

Al hacer el fraccionamiento, me permitía tener puntos de muestreo más uniformes, diferencias por zonas de evacuación de relave de diferentes tipos de minerales y mejor manejo del resultado de análisis de metales pesados.

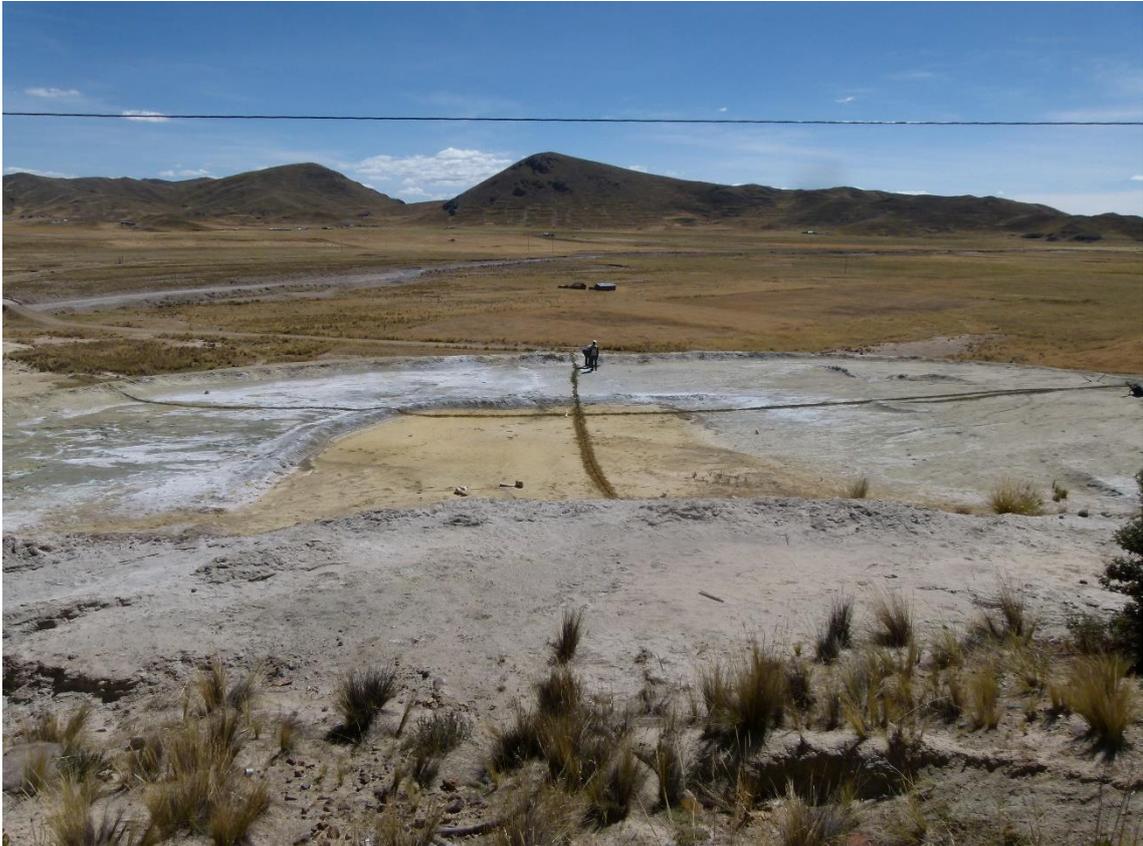


Figura N° 12. Fraccionamiento de la Relavera.

Figura: Bryan R. Juárez

3.2.4. TOMA DE MUESTRA

Sabiendo que existen tres enfoques básicos para el muestreo: selectivo, sistemático y al azar (MEM, 2000), escogí el muestreo sistemático también llamado “de rejilla”, considerando conceptualmente que este es un método mediante el cual los puntos de muestreo seleccionados se ubican a distancias uniformes entre sí, a fin de brindar total cobertura a una población específica de relave, este método es útil para documentar probables gradientes de concentración y se emplea a menudo en los programas de monitoreo.



Figura N° 13. Uso del muestreador tubular

Figura: Bryan R. Juárez

Para reducir los márgenes de error, malas interpretaciones y posteriormente una comparación falsa con los datos obtenidos de laboratorio, se hizo uso del siguiente protocolo: Colección de muestras, cuarteo, embolsado, codificado, preservación de muestras representativas y transporte.

Colección del relave: Se usó el muestreador tubular (jeringa), para obtener muestras por puntos de manera sistemática, de tal forma que se tengan un aproximado de 35 puntos de muestreo por cada sector (A, B, C Y D), haciendo un total de 140 muestras, garantizando un mejor resultado en el siguiente procedimiento.

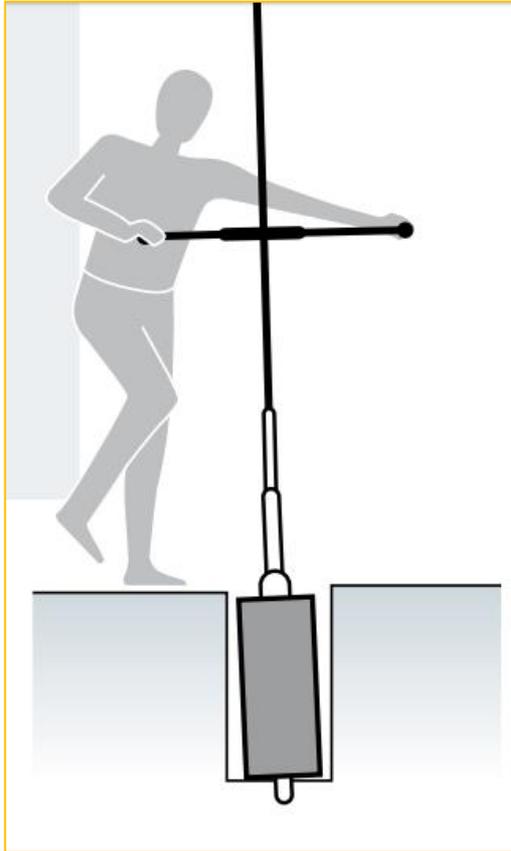


Figura N° 14. Muestreador manual tipo barreno.

Fuente: (Pérez, 2019)



Figura N° 15. Muestra por corte (Muestreador tubular).

Figura: Bryan R. Juárez

Cuarqueo: De las 35 muestras por sectores, se procedió a homogenizarlas (**Figura N° 16**), ya que parte de la muestra se encontraba en forma de pellets húmedos y la parte seca estaba dispersa, posteriormente se aplicó la reducción de la cantidad de muestra usando dos tipos de métodos de reducción, a) cuarqueo manual (**Figura N° 17**), y b) Método de muestreo sistemático alternado (**Figura N° 18**), ambos métodos se aplicaron de forma cuidadosa. Se sabe que el cuarqueo no solo es parte del proceso de preparación de muestras en campo, sino también usado en la preparación mecánica en laboratorio metalúrgico; considerando los procedimientos de seguridad y salud ocupacional, sin ellos inclusive las muestra podrían llegar a contaminarse (mala manipulación de muestras, limpieza inadecuada de herramientas de trabajo, falta de orden).



Figura N° 16. Homogenización de la muestra.

Figura: Bryan R. Juárez



Figura N° 17. Método de cuarteo.

Figura: Bryan R. Juárez



Figura N° 18. Método de muestreo sistemático alternado.

Figura: Bryan R. Juárez

Embolsado y Codificado: Se obtuvieron 8 muestras representativas, y cada una fue codificada con los siguientes datos: a) Nombre (Relave), b) Letra de la muestra (A, B, C o D), c) Hora y d) Fecha; todas fueron preservadas en bolsas de cierre hermético y finalmente 4 de las 8 muestras fueron transportadas a los “Laboratorios Analíticos del Sur”.



Figura N° 19. Etiquetado de muestras.

Figura: Bryan R. Juárez



Figura N° 20. Muestras representativas.

Figura: Bryan R. Juárez

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO

Al observarse que la superficie del relave del CIP Tiquillaca tenía costras de color marrón, producidas por un proceso de meteorización debido al secado y condiciones climáticas, se utilizó jeringas de muestreo más largas, para tener muestras de aproximadamente 40 cm de profundidad por muestreo; con este procedimiento se obtuvieron 8 muestras representativas de las fracciones realizadas (A, B, C y D).

4.2 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE METALES DE LABORATORIO

Tabla N° 2. Resultados de metales contenidos en el relave en ppm.

Elementos	informe de laboratorio muestra "A"	informe de laboratorio muestra "B"	informe de laboratorio muestra "C"	informe de laboratorio muestra "D"
As	474.74	177.72	306.99	203.54
Ag	12.21	7.74	>20.0	>20.0
Al	>10000	>10000	>10001	>10000
B	270.1	311.6	321.4	337.2
Ba	2873	1686	4419	6644
Be	2.23	2.43	1.43	1.09
Bi	<2.0	<2.0	7	7.9
Ca	>10000	>10000	>10000	>10000
Cd	120.29	31.96	36.56	114.11
Co	9.84	9.38	16.05	18.55
Cr	16.83	11.99	58.88	41.69
Cu	495.4	238.8	1449	1815
Fe	>10000	>10000	>10000	>10000
Ga	8.87	25.05	15.98	9.59
In	14.05	29.17	14.85	6.41
K	3909	4134	5064	5137
Li	67.2	57.9	79	94.7
Mg	>10000	>10000	>10001	9126
Mn	4674	1904	2004	2280
Mo	3.92	<0.64	3.62	2.25
Na	685.5	763.5	1712	1885
Ni	10.57	7.68	12.9	15.73
P	677.77	739.19	963.16	911.34

Pb	7636	2446	>10000	>10000
Sb	24.06	16	27.01	41.37
Se	<0.64	<0.64	<0.64	<0.64
Sn	<16	<16	69	97
Sr	86.17	68.26	122.54	137.88
Te	<0.80	<0.80	<0.80	<0.80
Ti	160.15	161.05	1168	1527
Tl	<0.64	<0.64	<0.64	<0.64
V	64.17	62.85	51.37	44.33
Zn	8791	3556	5377	9185

Fuente: Elaboración propia

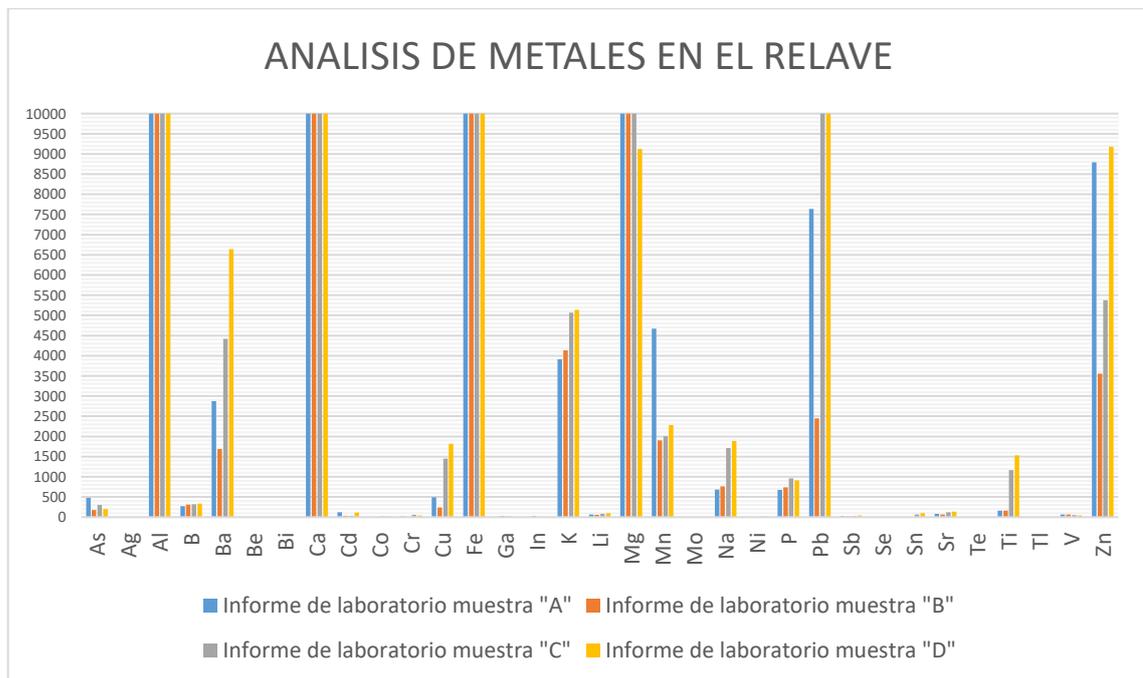


Figura N° 21. Grafico en columnas de la cantidad de metales.

Fuente: Elaboración propia

De los resultados del laboratorio (LAS), observamos en la **Tabla N° 02** y la **Figura N° 21** que se tienen elementos que sobrepasan las 10000 ppm como el: Aluminio, Calcio, Hierro y Magnesio, sin embargo, estos valores no son significantes al comparar con los ECA Suelo y la norma holandesa (LMP), para sedimentos y suelos; sabiendo que por su estado ya antes mencionado del relave (inactivo), la dispersión por acción del viento es considerado un riesgo ambiental.

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Figura N° 22. D.S. N° 011-2017 MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para suelo.

Fuente: D.S. N° 011-2017 MINAM

*Haciendo la conversión de mg/kg a ppm, se tiene los siguientes resultados: Arsénico (140 ppm), Cadmio (22 ppm), Cromo (1.4 ppm) y Plomo (800 ppm); según la Tabla 1.5 del libro “Cálculos químicos para la preparación de soluciones” (Santillán, 2003).

Elemento / Sustancia	LMP (ppm)
Cu	500
Pb	600
Zn	3000
Cd	20
Ag	50
Hg	10
Mn (1)	3000
Fe (1)	10%

Figura N° 23. LMPs para suelos y sedimentos contaminados.

Fuente: Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (MINAM), Anexo N° 18

4.2.1. ANÁLISIS DE ARSÉNICO

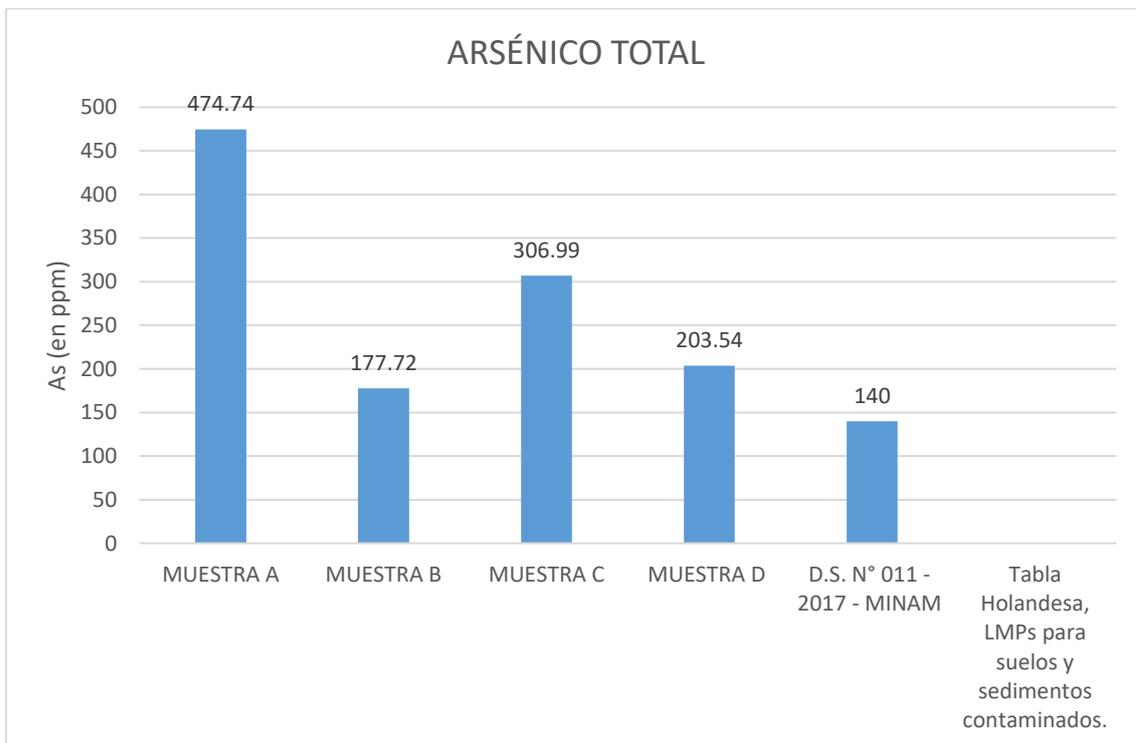


Figura N° 24. Muestras de As en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones de este metaloide (As), tanto en la muestra “A”, “B”, “C” y “D”, sobrepasan los estándares de calidad ambiental para suelo (D.S. N° 011 - 2017 MINAM); adicionalmente se muestra en la figura N° 26, que la muestra “A” contiene una concentración de 474,74 ppm considerándose la más alta con respecto a las muestras B (177,72 ppm), C (306,99 ppm), y D (203,54 ppm).

4.2.2. ANÁLISIS DE CADMIO

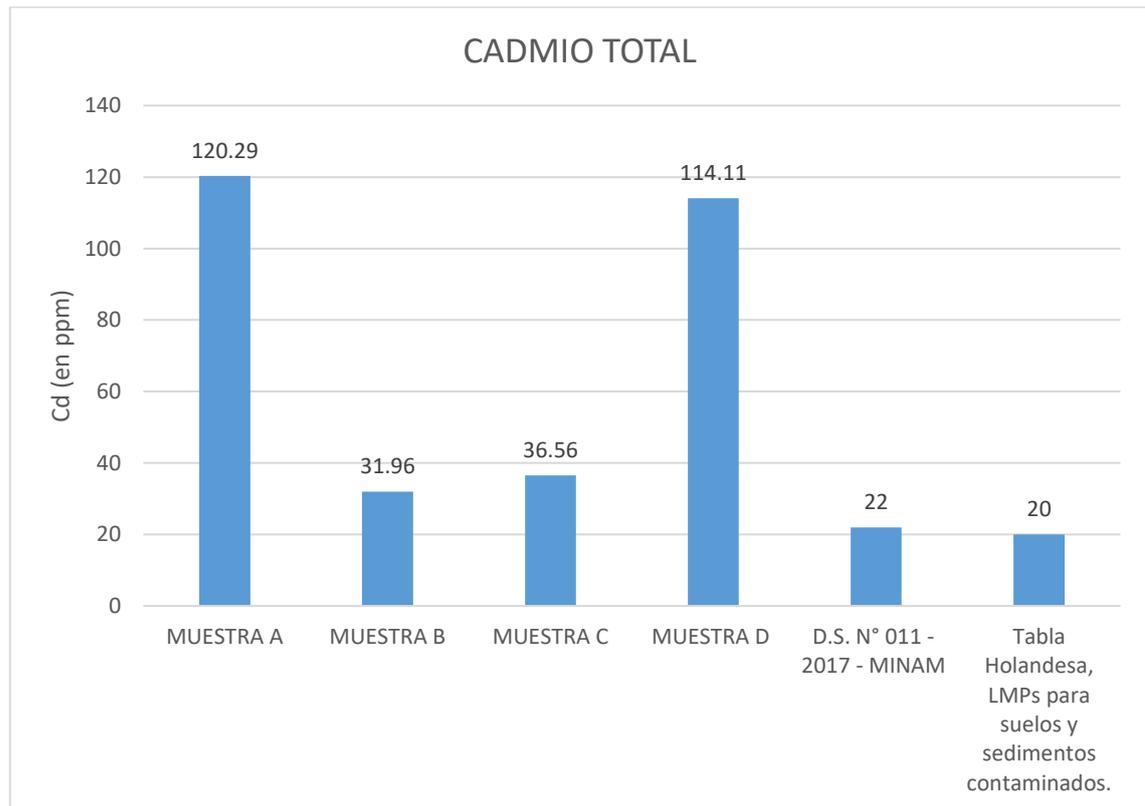


Figura N° 25: Muestras de Cd en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la figura N° 25, que todas las muestras tomadas del relave de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno, sobrepasan en sus niveles de concentración de cadmio: los estándares de calidad ambiental para suelo (D.S. N° 011 - 2017 MINAM), así como los límites máximos permisibles para suelos y sedimentos contaminados (Normativa Holandesa); además se sabe que la muestra A (120.30 ppm), y D (114.11 ppm), son extremadamente altas a comparación de la muestra B (31.96 ppm) y C (36.56).

4.2.3. ANÁLISIS DE CROMO

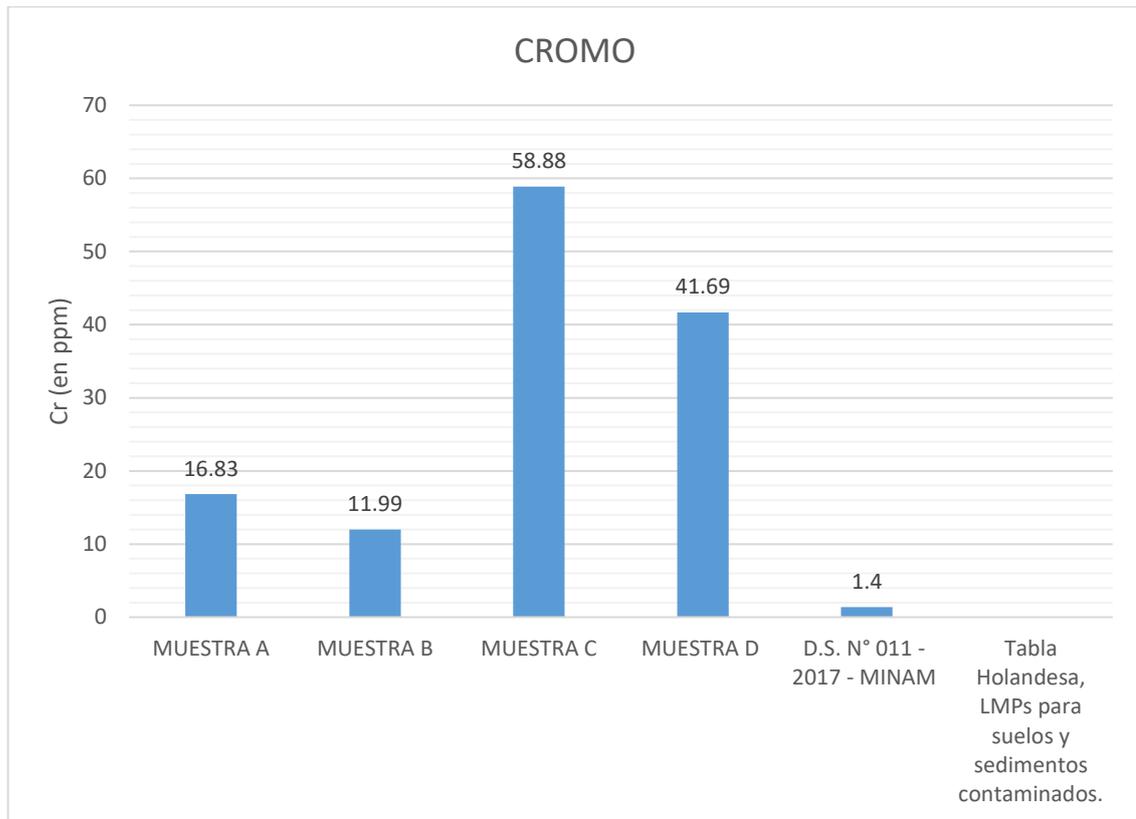


Figura N° 26. Muestras de Cr en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

De la figura N° 26 deducimos que las muestras: A (16.83 ppm), B (11.99 ppm), C (58,88 ppm) y D (41,69 ppm), tienen un valor mucho mayor en su concentración de Cromo con relación a la tolerancia de los estándares de calidad ambiental para suelo (D.S. N° 011 - 2017 MINAM), con 1,4 ppm de tolerancia.

4.2.4. ANÁLISIS DE COBRE

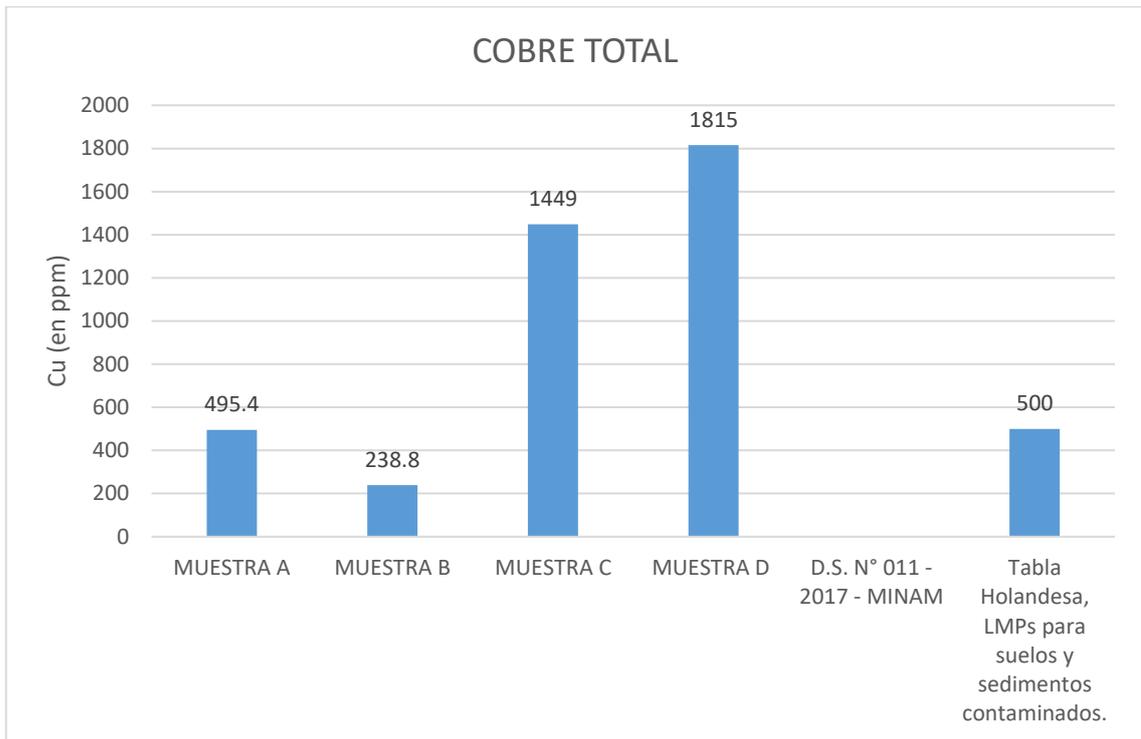


Figura N° 27: Muestras de Cu en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

La concentración de Cobre en la muestra A (495,4 ppm), y B (238,8 ppm), no exceden los LMP para suelos y sedimentos contaminados (Tabla Holandesa); mientras que las muestras C (1449 ppm) y D (1815 ppm), si sobrepasan la tolerancia del cobre en ppm de la normativa anteriormente mencionada (LMP para suelos y sedimentos contaminados de la tabla holandesa), con 500ppm de Cu, como tolerancia.

4.2.5. ANÁLISIS DE PLOMO

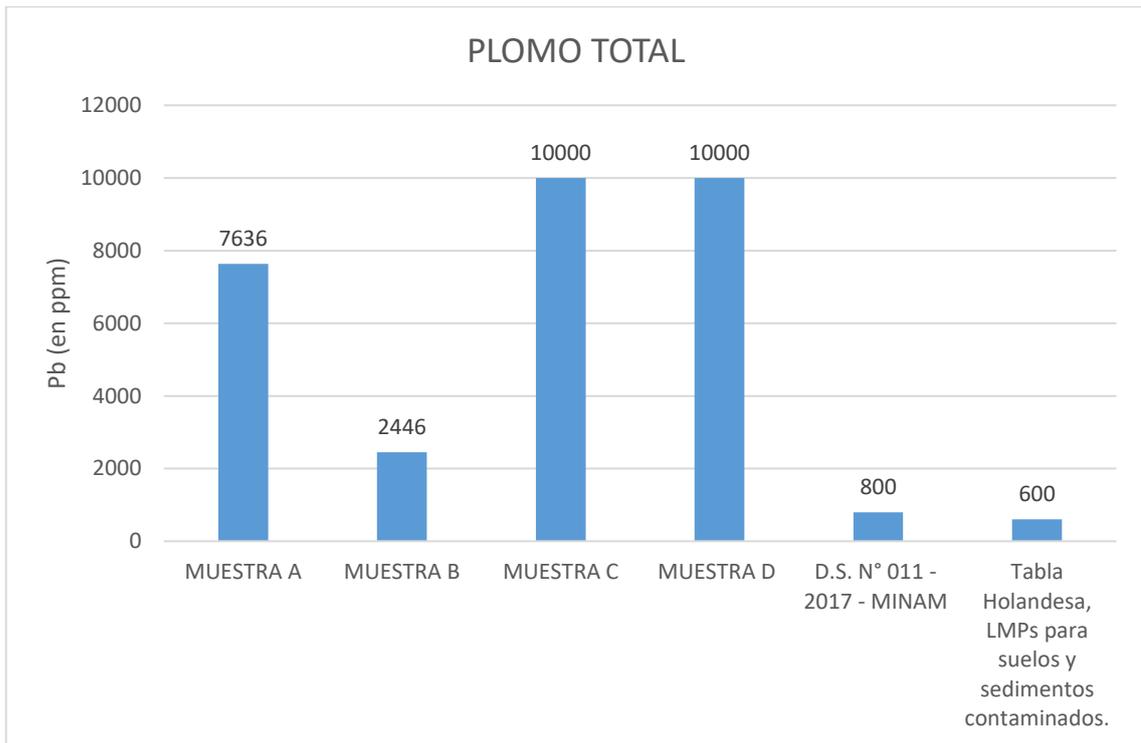


Figura N° 28: Muestras de Pb en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

Para el plomo, se tienen las siguientes concentraciones por muestra: A (7636 ppm), B (2446 ppm), C (10000 ppm) y D (10000 ppm), tal como lo indica el gráfico de barras, estas concentraciones de Pb exceden los estándares de calidad ambiental para suelo (D.S. N° 011 - 2017 MINAM), y los límites máximos permisibles para suelos y sedimentos contaminados (tabla holandesa).

4.2.6. ANÁLISIS DE ZINC

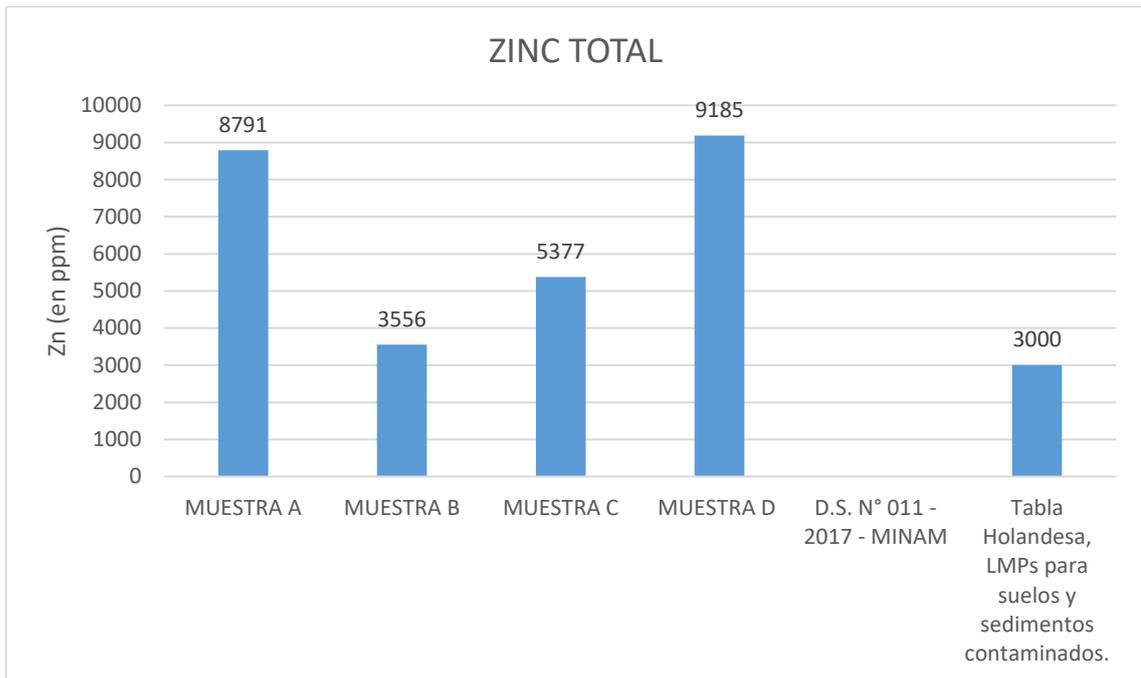


Figura N° 29. Muestras de Zn en ppm y normativa.

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al Zinc los valores de concentración en ppm de las muestras A (8791 ppm), B (3556 ppm), C (5377 ppm) y D (9185 ppm), se encuentran por encima de los límites máximos permisibles para suelos y sedimentos contaminados (tabla holandesa); consideremos también los que en las muestras A y D se tienen los valores más altos.

4.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Tabla N° 3. Categoría de Toxicidad para la Ecología

Nombre Químico	Categoría
Acetato de vinilo	IIE
Acetona	N/A
Acido clorhídrico	IIIE
Acido nítrico	IE
Acido sulfúrico	IIE
Aluminio	IIE
Amoniaco	IIE
Arsénico	IIE
Azufre	IIE
Benceno	IE
Butadieno	N/A
Cadmio	IIIE
Cianuros	IIIE
Cloro	IIIE
Cloro de berilio	IIIE
Cloro de vinilo	N/A
Cloroformo	IE
Cobalto	IVE
Cobre	IIIE
Coque, emisiones de horno	IIE
Cromo (Cr VI)	IVE
Dióxido de azufre	IIE
Dióxido de nitrógeno	IIIE
Disulfito de barbonilo	IIE
Estiereno	IIE
Eter	N/A
Fenol	IIE
Fluoruro de berilio	IVE
Fluoruro	N/A
Fluoruro de hidrógeno	IIIE
Formaldehído	IIIE
Fosfato de berilio	IIIE
Hexaclorobenceno	N/A
Mercurio	IIIE
Metanol	IE
Metil etil ketona	IE
Metil isobutil ketona	IE
Níquel	IIE
Partículas	IIE
Plomo	IIE
Selenio	IVE
Sulfato de berilio	IIIE
Sulfato de talio	IIIE
Sulfito de hidrógeno	IVE
Tetracloruro de barbonilo	IE
Tolueno	N/A
Tricloroetano, 1,1,1-	IE
Xileno (Combinados)	IE
Zinc (fosfuro)	IIIE

Fuente: Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (MINAM), Anexo N° 08

Tabla N° 4. Determinación de las Categorías De Toxicidad Para La Ecología

Categoría	Mamíferos y aves	Acuático
IE	LC50 (mg/m ³) : > 20,000	LC50 (ug/l): >100,000
IIE	LC50 mg/m ³) : >2,000 - 20,000	LC50 (ug/l): >1,000-100,000
IIIE	LC50 (mg/m ³) : 200 - 2,000	LC50 (ug/l): 100- 1,000
IV	LC50 (mg/m ³) : < 200	LC50 (ug/l): <100

Fuente: Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales (MINAM)

Tabla N° 5. Impactos ambientales producidos por relave y área de impacto

N°	IMPACTOS OCASIONADOS
1	Modificación de la calidad del suelo por el vertimiento de efluentes
2	Modificación de la calidad del agua por el vertimiento de efluentes
3	Modificación de la calidad del aire por la emisión de gases tóxicos al verter efluentes
4	Contaminación a especies de flora por la absorción de metales
5	Desplazamiento de especies (fauna), por el vertimiento de efluentes
6	Daño al biotopo y biocenosis por vertimiento de efluentes
7	Daño a la salud humana por exposición a sustancias tóxicas presentes en el efluente minero metalúrgico.
8	Se rompe con la estructura del paisaje cambiando la tonalidad de color de suelos y ríos por vertimiento de efluentes.
9	Modificación de la calidad del suelo por la erosión del relave.
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.
11	Modificación de la calidad del aire por el desprendimiento de partículas en suspensión producto de la erosión del relave.
12	Perdida gradual de cubierta vegetal y top soil por la erosión del relave.
13	Riesgo a la salud mediante la vía respiratoria por partículas en suspensión en consecuencia de la erosión del relave.
14	Modificación de la calidad del suelo por el incremento de metales pesados en su concentración.
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.
17	Problemas de salud en especies de fauna por metales pesados.
18	Daño a la salud humana por incremento de metales pesados en su organismo.
19	Generación de empleo por monitoreos ambientales.
20	Remoción del top soil por análisis del relave y área de influencia.
21	Producción de polvo y dispersión del relave por análisis de relave.
22	Riesgo a la salud por una mala operación en el análisis de relave
23	modificación ligera del status quo por actividades antrópicas.
24	Generación de empleo a stakeholders con la relavera

Fuente: Elaboración propia (a partir del Anexo N° 5)

*De las tablas N° 03 y 04 junto con los resultados obtenidos en laboratorio metalúrgico, tenemos al Arsénico y Plomo en la categoría IIE, al Cadmio y Cobre en la categoría IIIE, mientras que al Cromo lo ubicamos en la categoría IVE; según la categoría de toxicidad para la ecología

(Tabla N°03), es decir que estos elementos químicos se consideran altamente tóxicos (por su concentración).

4.4. VALORACIÓN RIAM

Tabla N° 6. Matriz de valoración de impactos.

N	IMPACTOS OCASIONADOS	A1	A2	B1	B2	B3	TOTAL	VALORACION RIAM
1	Modificación de la calidad del suelo por el vertimiento de efluentes	1	-1	2	2	3	-7	IMPACTO LEVE NEGATIVO
2	Modificación de la calidad del agua por el vertimiento de efluentes	2	-2	2	2	3	-28	IMPACTO NEGATIVO MODERADO
3	Modificación de la calidad del aire por la emisión de gases tóxicos al verter efluentes	2	-1	2	2		-12	IMPACTO NEGATIVO
4	Contaminación a especies de flora por la absorción de metales	1	-1	2	2	3	-7	IMPACTO LEVE NEGATIVO
5	Desplazamiento de especies (fauna), por el vertimiento de efluentes	2	-2	2	2	1	-20	IMPACTO NEGATIVO MODERADO
6	Daño al biotopo y biocenosis por vertimiento de efluentes	1	-2	3	3	3	-18	IMPACTO NEGATIVO
7	Daño a la salud humana por exposición a sustancias tóxicas presentes en el efluente minero metalúrgico.	1	-2	2	2	3	-14	IMPACTO NEGATIVO
8	Se rompe con la estructura del paisaje cambiando la tonalidad de color de suelos y ríos por vertimiento de efluentes.	1	-2	3	3	3	-18	IMPACTO NEGATIVO
9	Modificación de la calidad del suelo por la erosión del relave.	1	-1	2	2	3	-7	IMPACTO LEVE NEGATIVO
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	3	-2	2	2	3	-42	IMPACTO SIGNIFICATIVO NEGATIVO
11	Modificación de la calidad del aire por el desprendimiento de partículas en suspensión producto de la erosión del relave.	2	-1	2	2	2	-12	IMPACTO NEGATIVO
12	Perdida gradual de cubierta vegetal y top soil por la erosión del relave.	1	-1	2	2	3	-7	IMPACTO LEVE NEGATIVO
13	Riesgo a la salud mediante la vía respiratoria por partículas en suspensión en consecuencia de la erosión del relave.	1	-2	2	2	2	-12	IMPACTO NEGATIVO
14	Modificación de la calidad del suelo por el incremento de metales pesados en su concentración.	1	-2	2	2	3	-14	IMPACTO NEGATIVO
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	3	-2	2	2	3	-42	IMPACTO SIGNIFICATIVO NEGATIVO
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	2	-2	2	2	2	-24	IMPACTO NEGATIVO MODERADO
17	Problemas de salud en especies de fauna por metales pesados.	1	-2	2	2	3	-14	IMPACTO NEGATIVO
18	Daño a la salud humana por incremento de metales pesados en su organismo.	1	-2	2	2	3	-14	IMPACTO NEGATIVO
19	Generación de empleo por monitoreos ambientales.	2	2	2	2	1	20	IMPACTO MODERADO POSITIVO
20	Remoción del top soil por análisis del relave y área de influencia.	1	-1	2	2	1	-5	IMPACTO LEVE NEGATIVO
21	Producción de polvo y dispersión del relave por análisis de relave.	2	-2	2	2	2	-24	IMPACTO NEGATIVO MODERADO
22	Riesgo a la salud por una mala operación en el análisis de relave	1	-1	2	2	3	-7	IMPACTO LEVE NEGATIVO
23	modificación ligera del status quo por actividades antrópicas.	1	-1	1	1	3	-5	IMPACTO LEVE NEGATIVO
24	Generación de empleo a stakeholders con la relavera	2	2	3	1	2	24	IMPACTO MODERADO POSITIVO

Fuente: Elaboración propia

4.5. EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

4.5.1. DETERMINACIÓN DE ESCENARIO DE RIESGOS

Tabla N° 7. Análisis de escenarios.

DETERMINACIÓN DE ESCENARIO DE RIESGOS					
N°	ELEMENTO	ESCENARIO DE RIESGO	CAUSA	CONSECUENCIAS	
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	Agua	Contaminación del agua por sustancias tóxicas del relave	Inadecuado manejo del relave y condiciones climáticas desfavorables	Daño al ambiente y a la salud
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	Agua superficial y subterránea	Contaminación del agua por altas concentraciones de metales pesados	Inadecuada emisión de relave con altas concentraciones de M.P.	Daño al ambiente y a la salud
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	Aire	Contaminación del aire por inclusión de metales pesados	Inadecuado ejecución plan de mitigación para material particulado	Daño al ambiente y a la salud

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDAD

Tabla N° 8. Rango de estimación probabilística.

ESTIMACIÓN DE PROBABILIDAD				
N°		ELEMENTO	ESCENARIO DE RIESGO	PROBABILIDAD
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	Agua	Contaminación del agua por sustancias tóxicas del relave	5
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	Agua superficial y subterránea	Contaminación del agua por altas concentraciones de metales pesados	4
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	Aire	Contaminación del aire por inclusión de metales pesados	4
VALOR		PROBABILIDAD		
5	MUY PROBABLE	Menos de una vez al mes		
4	ALTAMENTE PROBABLE	Entre una vez al mes y una vez al año.		
3	PROBABLE	Entre una vez al año y una vez cada 10 años.		
2	POSIBLE	Entre una vez cada 10 años y una vez cada 50 años.		
1	IMPROBABLE	Mayor a una vez cada 50 años.		

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. ESTIMACIÓN DE GRAVEDAD DE LAS CONSECUENCIAS

Tabla N° 9. Rango de estimación de consecuencias

VALOR	VALORACIÓN	VALOR ASIGNADO
Crítico	20 - 18	5
Grave	17 - 15	4
Moderado	14 - 11	3
Leve	10 - 8	2
No relevante	7 - 5	1

Fuente: UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales.

Tabla N° 10. Valoración de los escenarios identificados

ENTORNO NATURAL								
N°	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Calidad del medio	Gravedad	Puntuación total	
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	3	3	3	2	14	3	MODERADO
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	4	3	3	3	16	4	GRAVE
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	3	2	3	3	13	3	MODERADO

ENTORNO HUMANO								
N°	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Población afectada	Gravedad	Puntuación total	
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	3	3	3	3	15	4	GRAVE
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	4	4	3	4	19	5	CRÍTICO
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	2	3	3	4	15	4	GRAVE

ENTORNO SOCIOECONÓMICO								
N°	Escenario de riesgo	Cantidad	Peligrosidad	Extensión	Patrimonio y capital productivo	Gravedad	Puntuación total	
10	Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave.	2	2	2	2	10	2	LEVE
15	Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.	3	3	2	3	14	3	MODERADO
16	Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.	1	2	2	2	9	2	LEVE

Fuente: Elaboración propia

*La puntuación total, se obtiene de la Tabla N° 9; *Rango de estimación de consecuencias.*

4.5.4. ESTIMACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL

Tabla N° 11. Estimador del riesgo ambiental

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5					

	Riesgo significativo: 16 - 25
	Riesgo Moderado: 6 - 15
	Riesgo Leve: 1 - 5

Fuente: UNE 150008, Edición Bryan R. Juárez

Tabla N° 12. Riesgo en el entorno natural

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4					
	5			E10, E16	E15	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13. Riesgo en el entorno humano

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4				E16	E15
	5				E10	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 14. Estimador del riesgo socioeconómico

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
PROBABILIDAD	1					
	2					
	3					
	4		E16	E15		
	5		E10			

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

	Valor Matricial	Equivalencia Porcentual (%)	Promedio (%)	
Riesgo Significativo :	16 - 25	64 - 100	82	← RIESGO ALTO
Riesgo Moderado :	6 - 15	24 - 60	42	
Riesgo Leve :	1 - 5	1 - 20	10,50	

Fuente: En base a la Norma UNE 150008 2008 Evaluación de los riesgos ambientales y DS. N° 024-2008-PCM; Para la expresión del Riesgo, tomar los extremo del rango establecido, finalmente se opera aritméticamente estos valores (media), el valor final representa cuantitativamente el porcentaje esperado; Ejemplo : si después de evaluar, se me indica un Riesgo Medio, el rango es entre 21 – 60, el valor esperado es el 40,50 %.

Figura N° 30. Establecimiento del riesgo alto en la escala de evaluación de riesgo ambiental

Tabla N° 15. Evaluación del riesgo ambiental

	ESCENARIO	PROBABILIDAD	GRAVEDAD	RIESGO	% Riesgo ambiental
ENTORNO NATURAL	Contaminacion del agua por sustancias toxicas del relave	5	3	15	60
	Contaminacion del agua por altas concentraciones de metales pesados	4	4	16	64
	Contaminacion del aire por inclusion de metales pesados	4	3	12	48
				PROMEDIO	57,33
ENTORNO HUMANO	Contaminacion del agua por sustancias toxicas del relave	5	4	20	80
	Contaminacion del agua por altas concentraciones de metales pesados	4	5	20	80
	Contaminacion del aire por inclusion de metales pesados	4	4	16	64
				PROMEDIO	74,67
ENTORNO SOCIOECONÓMICO	Contaminacion del agua por sustancias toxicas del relave	5	2	10	40
	Contaminacion del agua por altas concentraciones de metales pesados	4	3	12	48
	Contaminacion del aire por inclusion de metales pesados	4	2	8	32
				PROMEDIO	40,00
					57,33

Fuente: Elaboración propia

*El valor del riesgo corresponde a la multiplicación de la probabilidad por la gravedad, mientras que la equivalencia porcentual está en función a la Figura N° 30; *Establecimiento del riesgo alto en la escala de la evaluación de riesgo ambiental.*

$$CR = \underline{EN} + \underline{EH} + \underline{ES}$$



3

$$CR = \frac{57.33 + 74.67 + 40.00}{3}$$

3

$$CR = 57.33 \%$$

CR = Caracterización del riesgo

EN = Entorno natural

EH = Entorno humano

ES = Entorno socioeconómico

La evaluación ambiental efectuada de los tres impactos ambientales significativos negativos, caracteriza el siguiente riesgo ambiental: Entorno humano 74.67%, entorno natural 57.33 % y entorno socioeconómico 40.00 %.

Las características del relave minero metalúrgico del CIP Tiquillaca, UNA - Puno junto con sus Stakeholders (vínculos y grupos de interés), tiene un promedio de Riesgo Ambiental de 57,3 %, el cual es moderado, sin embargo, amerita la toma de medidas de mitigación, ya que su entorno natural y humano son afectados severamente.

4.6. PLAN DE CONTINGENCIA

Para una adecuada implementación del plan de contingencia en relación al riesgo ambiental a partir de las características del relave minero - metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, se considera dos aspectos:

- 1.- la identificación de los riesgos ambientales potenciales, evaluando anteriormente las probabilidades, la severidad y los niveles de acción en cada caso.
- 2.- Crear una estructura organizacional encargada de dirigir el control de emergencia y liderar con respuestas ante cualquier accionar.

Cabe mencionar que de los tres eventos contingentes significativos:

- Modificación de la calidad del agua por la erosión del relave
- Modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración.
- Modificación de la calidad del aire por la dispersión de metales pesados producidos con condiciones climáticas.

Se puede controlar si se toman medidas precautorias necesarias y se establecen una coordinación entre el personal que labora en el CIP Tiquillaca y los Stakeholders (grupos de interés), así dar una respuesta rápida ante emergencias o contingencias.

El relave de la planta concentradora de Tiquillaca corresponde a la fase de operación según la guía ambiental para el manejo de relaves mineros, sin embargo, por sus características y su estado, se ubica en la fase de abandono; por lo tanto, se sugiere que la estabilidad física y química del depósito de relave quede asegurada.

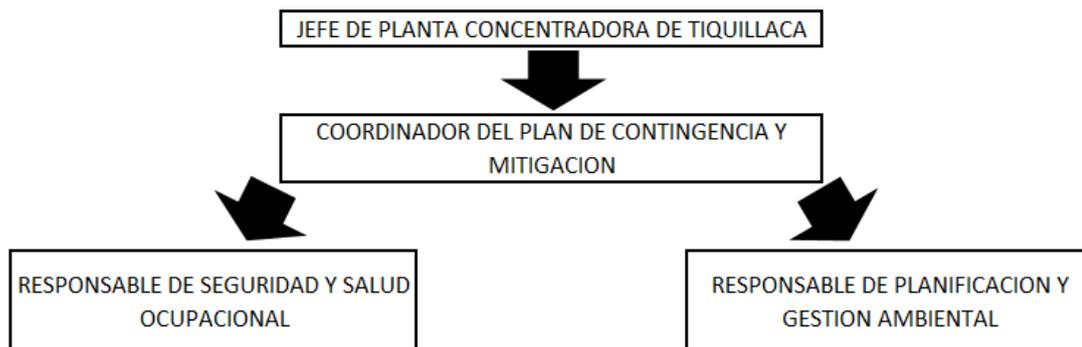


Figura N° 31. Organigrama de responsabilidades del plan de contingencia.

Fuente: Elaboración propia

4.6.1. GESTIÓN DE LOS ASPECTOS AFECTADOS POR LOS IMPACTOS AMBIENTALES SIGNIFICATIVOS

Calidad del aire

Instalar una estructura de protección de la relavera en épocas secas, con el fin de evitar la dispersión del relave por erosión.

Riego moderado de la carretera y zona de acceso al CIP Tiquillaca, para evitar la generación de polvo y partículas en suspensión.

Calidad del agua

Implementación de un sistema de canalización y captación de aguas de lluvia, con el fin de evitar aguas de escorrentía.

Monitorios periódicos de agua superficial y subterránea, para evitar la acumulación de contaminantes en el agua, haciendo uso del principio precautorio.



Calidad del suelo

Verificación constante de la estabilidad de talud y su inclinación.

Considerar la Fito remediación o Fito minería, como una opción amigable con el medio ambiente, teniendo este método el objetivo de disminuir la cantidad de metales pesados contenido en el suelo.

Flora

Evaluación periódica de la cubierta vegetal, conservación del status quo y cuidado de especies económicas comerciales.

Fauna

Identificación, registro y seguimiento del comportamiento de animales silvestres.

Brindar charlas a las personas del área de influencia al CIP Tiquillaca, de los posibles impactos negativos ocasionados a los animales domésticos.

Entorno socio económico

Brindar información a la comunidad de Paxa, acerca de la condición de la relavera y los posibles impactos ambientales en determinadas épocas del año.

Promover la educación ambiental, elaborar talleres de mejora en las diferentes labores rurales: agricultura, ganadería, otros.

4.7. SOLUCIONES FRENTE AL RIESGO AMBIENTAL EXISTENTE

Al encontrarse el Relave de la Planta de Beneficio de Tiquillaca UNA – Puno en estado inactivo, se considera este como un pasivo ambiental (Ley N° 28271); Se conocen técnicas actuales y antiguas de remediación de pasivos ambientales y recuperación de metales preciosos en relaves mineros, siendo la mejor solución frente a este caso y considerando los menores gastos económicos, la “mezcla de técnicas modernas y antiguas” ya que anteriormente se mencionó la enorme cantidad de metales pesados obtenidos en el relave del CIP Tiquillaca, se podría aplicar la “Fitominería” (phytomining), aprovechando la capacidad de ciertas especies de plantas de absorber metales pesados para luego continuar con el proceso de incineración y por diferencia de puntos de ebullición, los metales preciosos de nuestro interés y económicamente rentables, podrán ser obtenidos.



Otra solución frente al riesgo ambiental existente es cubrir la relavera con un material impermeable con la finalidad de evitar la erosión y en consecuencia el movimiento del relave por acción del viento; a su vez disminuirá el rango de dispersión del relave y protección de la cancha de relave en temporada de lluvia, asegurando que este interactúe con el agua y anulando la posibilidad que llegue a la napa freática.



V. CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización del relave son los siguientes: (As), 474.74; 177.72; 306.99 y 203.54; (Cd), 120.29; 31.96; 36.56 y 114.11; (Cr), 16.83; 11.99; 55.88 y 41.69; (Cu), 495.4; 238.8; 1449 y 1815; (Pb), 7636; 2446; 10000 y 10000; (Zn), 8791; 3556; 5377 y 9185 para las muestras A, B, C Y D, respectivamente (en ppm) y sobrepasan los ECA suelos y norma holandesa, para todos los metales en mención.

Realizando la valoración de impactos ambientales por el método RIAM, obteniendo 24 impactos ocasionados, la evaluación del riesgo ambiental muestra el siguiente resultado: entorno humano 74.67%, entorno natural 57.33% y entorno socioeconómico 40.00%. Las características del relave minero metalúrgico del CIP Tiquillaca, UNA - Puno junto con sus Stakeholders (vínculos y grupos de interés), tiene un promedio de Riesgo Ambiental de 57,3 %, el cual es moderado.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar posteriores estudios de remediación y mitigación de zonas afectadas por el relave minero metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA – Puno.
- Buscar alternativas y métodos para recuperar el metal con potencial económico como el Cu (495.4 ppm; 238.8 ppm; 1449 ppm; 1815 ppm), Fe (>10000 ppm) y Zn (8791 ppm; 3556 ppm; 5377 ppm; 9185 ppm), los cuales tienen altas concentraciones en ppm presentes en el relave.
- Realizar un estudio detallado del impacto a la salud humana y el daño al ecosistema.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), (2017). Mapa vial del distrito de Tiquillaca. *Sistema Nacional de Carreteras*.
- Anderson, D., & Morel, F. (1978). Copper sensitivity of *Gonyaulax tamarensis*. *Limnology and Oceanography*, 23(2), 283–295.
- Angelina, A., Martínez, H., & Bringas, C. T. (2010). Valoración ambiental : aportaciones , alcances y limitaciones.
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. del C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., ... Rodríguez, F. (2009). Lead intoxication and other health problems in children population who live near mine tailing. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 15–19.
- Astuhum, G., Bueno, H., & Pomalaza, O. (2013). Caracterización Metalúrgica y Ambiental del Relave de la Planta Experimental Yauris.
- Bell, F. G., Bullock, S. E. T., Hällich, T. F. J., & Lindsay, P. (2001). Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Withbank Coalfield, South Africa. *International Journal of Coal Geology*, 45(2–3), 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(00\)00033-1](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(00)00033-1)
- Bradshaw, A. D., & Chadwick, M. J. (1980). *The restoration of land. The ecology and reclamation of derelict and degraded land*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.
- Burd, B. J. (2002). Evaluation of mine tailings effects on a benthic marine infaunal community over 29 years. *Marine Environmental Research*, 53(5), 481–519. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(02\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(02)00092-2)
- Campos, N. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Caldasia*, 16(77), 231–243.
- Canahuri, A. E. (2013). Recuperación de mineral oxidado valioso del relave de la planta concentradora de Tiquillaca – Puno. Repositorio Institucional UNA-PUNO.



- Chiang, A. 1989. Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile. Memorias del Simposio Internacional sobre los recursos vivos, Santiago. Serie CPPS: 205 - 215 pp.
- Christopher M., & Jensen, A. (1998). The rapid impact assessment matrix (RIAM) for EIA. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(5), 461–482. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(98\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00018-3)
- Coillo, G. (2010). Identificación del impacto ambiental en la operación de la planta concentradora CIP-TIQUILLACA UNA-PUNO, para minimizar la contaminación ambiental. Repositorio Institucional UNA-PUNO, 1–254.
- Condori, O. M. (2018). Determinación De Los Efluentes Del Proceso De Flotación Y Diseño Del Proceso De Tratamiento En La Planta Concentradora De Tiquillaca. Repositorio Institucional UNA-PUNO.
- Conesa, H. M., Faz, Á., & Arnaldos, R. (2006). Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 366(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.12.008>
- Dold, B. (2014). Submarine Tailings Disposal (STD)—A Review. *Minerals*, 4(3), 642–666. <https://doi.org/10.3390/min4030642>
- Edraki, M., & Unger, C. (2015). *Environmental Geochemistry of Abandoned Mines in the Puno Region of Peru – to Guide Strategic Planning for Regional Development and Legacy Site Management Researchers*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1367.6004>
- Engel, D. W., Sunda, W. G., & Fowler, B. A. (2012). *Factors Affecting Trace Metal Uptake and Toxicity To Estuarine Organisms. I. Environmental Parameters. Biological Monitoring of Marine Pollutants*. ACADEMIC PRESS, INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-718450-0.50011-0>
- Favas, P. J. C., Pratas, J., Gomes, M. E. P., & Cala, V. (2011). Selective chemical extraction of heavy metals in tailings and soils contaminated by mining activity: Environmental implications. *Journal of Geochemical Exploration*, 111(3), 160–171. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.04.009>



- Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., & Peressotti, A. (2011). Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere*, 83(9), 1262–1267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.053>
- Franks, D. M., Boger, D. V., Côte, C. M., & Mulligan, D. R. (2011). Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy*, 36(2), 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2010.12.001>
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., ... Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru. *Science of The Total Environment*, 368(2), 637–648. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>
- Garcia-Fernandez, A. J., Martinez-Lopez, E., Romero, D., Maria-Mojica, P., Godino, A., & Jimenez, P. (2005). High levels of blood lead in griffon vultures (*Gyps fulvus*) from Cazorla Natural Park (southern Spain). *Environmental Toxicology*, 20(4), 459–463. <https://doi.org/10.1002/tox.20132>
- Grangeia, C., Ávila, P., Matias, M., & da Silva, E. F. (2011). Mine tailings integrated investigations: The case of Rio tailings (Panasqueira Mine, Central Portugal). *Engineering Geology*, 123(4), 359–372. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.10.001>
- Gu, J.-D. (2018). Mining, pollution and site remediation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 128, 1–2. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.11.006>
- Guillen, J. L. C. (2001). Plan de Abandono de Depositos de Relave en la Zona de Casapalca, 165.
- Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable Development In the Mining Industry. *Resource Policy*, 26(2000), 227–238.
- Hudson-Edwards, K. A., Jamieson, H. E., & Lottermoser, B. G. (2011). Mine wastes: Past, present, future. *Elements*, 7(6), 375–380. <https://doi.org/10.2113/gselements.7.6.375>
- INEI. (2013). Estadísticas municipales, (887), 61–63.



- Jara Facundo, M. A. (2011). Extracción química secuencial de metales pesados en el estudio de alteración química de relaves de mina en Ticapampa (Huaraz, Perú). *Boletín Geológico Y Minero*, 122(2), 221–234.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167–182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Kempton, H., Bloomfield, T. A., Hanson, J. L., & Limerick, P. (2010). Policy guidance for identifying and effectively managing perpetual environmental impacts from new hardrock mines. *Environmental Science and Policy*, 13(6), 558–566. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.06.001>
- Khaldoun, A., Ouadif, L., Baba, K., & Bahi, L. (2016). Valorization of mining waste and tailings through paste backfilling solution, Imiter operation, Morocco. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(3), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.02.021>
- Kinnunen, P. (2019). TOWARDS CIRCULAR ECONOMY IN THE MINING INDUSTRY : Implications of Institutions on the Drivers and Barriers for, (May).
- Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., & Hudson-Edwards, K. A. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, 51, 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- Kuramoto, J. R., & Análisis, G. De. (2002). La Minería Artesanal e Informal en e l Perú. *La Minería Artesanal e Informal En El Peru*, 47(82), 47.
- Liao, G. li, LIAO, D. xue, & LI, Q. ming. (2008). Heavy metals contamination characteristics in soil of different mining activity zones. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 18(1), 207–211. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(08\)60037-0](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(08)60037-0)
- Liu, Y.-G., Zhou, M., Zeng, G.-M., Li, X., Xu, W.-H., & Fan, T. (2007). Effect of solids concentration on removal of heavy metals from mine tailings via bioleaching. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 202–208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.113>



- Luthfiana, U., & Riniarti, M. (2020). Aplikasi Ektomikoriza (*Scleroderma* sp .) pada Semai Mangium (*Acacia mangium* Willd .) Menggunakan Media Tailing Pertambangan Emas Skala Kecil.
- McCarthy, D., Edwards, G. C., Gustin, M. S., Care, A., Miller, M. B., & Sunna, A. (2017). An innovative approach to bioremediation of mercury contaminated soils from industrial mining operations. *Chemosphere*, *184*, 694–699. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.051>
- MEM. (2000). Guía para el Muestreo y Análisis de Suelos, 21.
- MINAM. (2010a). Compendio de la legislación Ambiental Peruana, 1–374. Retrieved from <http://www.ambiente.gob.ec/calidad-ambiental/>
- MINAM. (2010b). Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales, 117. Retrieved from http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/guia_riesgos_ambientales.pdf
- Morris, P., & Therivel, R. T. (1995). *Methods of Environmental Impact Assessment*. (P. M. And & R. Therivel, Eds.).
- Nierwinski, H. P. (2019). Caracterização e comportamento geomecânico de rejeitos de mineração.
- Oblasser, A. (2016). Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras. *Cepal*. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40475>
- Olesik, J. W. (2000). Elemental Analysis Using an Evaluation and Assessment of Remaining Problems, *63*(1).
- Paktunc, D., Foster, A., Heald, S., & Laflamme, G. (2004). Speciation and characterization of arsenic in gold ores and cyanidation tailings using X-ray absorption spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *68*(5), 969–983. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2003.07.013>
- Paredes, M. (2016). The glocalization of mining conflict: Cases from Peru. *Extractive Industries and Society*, *3*(4), 1046–1057. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2016.08.007>



- Pedersen, T. F., & Losher, A. J. (2012). Diagenetic Processes in Aquatic Mine Tailings Deposits in British Columbia. *Chemistry and Biology of Solid Waste*, 238–258. https://doi.org/10.1007/978-3-642-72924-9_10
- Pérez, I. A. (2019). *Técnicas de perforación , muestreo y caracterización para la recuperación de elementos de valor desde relaves*.
- Ramirez-Llodra, E., Trannum, H. C., Evenset, A., Levin, L. A., Andersson, M., Finne, T. E., ... Vanreusel, A. (2015). Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 13–35. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.062>
- Ramos, W., Galarza, C., Ronceros, G., De Amat, F., Teran, M., Pichardo, L., ... Ortega-Loayza, A. G. (2008). Noninfectious dermatological diseases associated with chronic exposure to mine tailings in a Peruvian district. *British Journal of Dermatology*, 159(1), 169–174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2008.08630.x>
- Rodríguez, R., Estupiñán, M. D. R., Iglesias, M., & Castillo, E. (2007). Evaluación del riesgo ambiental de los pasivos ambientales de la cuenca alta del río Santa en el departamento de Ancash, Perú. *V Congreso Internacional de Medio Ambiente En Minería y Metalurgia, At Lima, Perú*, (July), 9.
- Romero, A. A., & Flores, S. L. (2008). Caracterización de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras characterization of the tailing paste for using as a filling in mining working, 1–9.
- Salinas-Rodríguez, E., Hernández-Ávila, J., Rivera-Landero, I., Cerecedo-Sáenz, E., Reyes-Valderrama, M. I., Correa-Cruz, M., & Rubio-Mihi, D. (2016). Leaching of silver contained in mining tailings, using sodium thiosulfate: A kinetic study. *Hydrometallurgy*, 160, 6–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2015.12.001>
- Santillán Márquez, J. L. (2003). *Calculos quimicos para la preparacion de soluciones*. Retrieved from <https://books.google.com.pe/books?id=0w0dAQAACAAJ>
- SENACE. (n.d.). Guia De Matriz De Riesgo Ambiental. 2010. Retrieved from <https://www.senace.gob.pe/download/senacenormativa/NAS-4-7-05-ANEXO->



Guia-matriz-riesgo.pdf

- Shu, W. S., Ye, Z. H., Lan, C. Y., Zhang, Z. Q., & Wong, M. H. (2001). Acidification of lead/zinc mine tailings and its effect on heavy metal mobility. *Environment International*, 26(5–6), 389–394. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00017-4)
- Shu, X. H., Zhang, Q., Lu, G. N., Yi, X. Y., & Dang, Z. (2018). Pollution characteristics and assessment of sulfide tailings from the Dabaoshan Mine, China. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 128(2016), 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.01.012>
- Sun, Z., Xie, X., Wang, P., Hu, Y., & Cheng, H. (2018). Heavy metal pollution caused by small-scale metal ore mining activities: A case study from a polymetallic mine in South China. *Science of the Total Environment*, 639, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.176>
- Vogt, C. (2014). International Assessment of Marine and Riverine Disposal of Mine Tailings. *IAIA14 Conference Proceedings*, (April), 1–134.
- Weissmannová, H. D., Miho, S., & Chovanec, P. (2019). Potential Ecological Risk and Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Industrial Affected Soils by Coal Mining and Metallurgy in Ostrava , Czech Republic. <https://doi.org/10.3390/ijerph16224495>
- Yang, S., Huang, Q., Cheng, X., Qi, W., & Zhang, X. (2019). A review of human hair heavy metal concentration characteristics from mines in China A review of human hair heavy metal concentration characteristics from mines in China. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012162>



Paginas Web

laboratoriosanaliticosdelsur.com

ucm.es/tecnicasgeologicas/espectometrias (Universidad Complutense Madrid).

sinia.minam.gob.pe

biblioteca.ucsm.edu.pe/sitio/bibliotecaVirtual

unap.edu.pe/servicios/s/index.php/



ANEXOS

Anexo N° 1: Informe de laboratorio muestra "A".



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-03647

Fecha de emisión: 9/07/2019

Página 1 de 1

Señores: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Dirección:
Atención: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Recepción: 3/07/2019
Realización: 3/07/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra
Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*563			*598						
				As	Ag	Al	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co
MN19007316	MUESTRA A F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	474,74	12,21	>10000	270,1	2873	2,23	^a <2,0	>10000	120,29	9,84

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598										
				Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
MN19007316	MUESTRA A F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	16,83	495,4	>10000	8,87	14,05	3909	67,2	>10000	4674	3,92	685,5

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl
MN19007316	MUESTRA A F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	10,57	677,77	7636	24,06	^a <0,64	^a <16	86,17	^a <0,80	160,15	^a <0,64

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598	
				V	Zn
MN19007316	MUESTRA A F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	64,17	8791

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico" = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 13316



Anexo N° 2: Informe de laboratorio muestra "B".



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-03648

Fecha de emisión: 9/07/2019

Página 1 de 1

Señores: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Dirección:
Atención: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Recepción: 3/07/2019
Realización: 3/07/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra
Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*583			*598						
				As	Ag	Al	B	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co
MN19007317	MUESTRA B F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	177,72	7,74	>10000	311,6	1686	2,43	a<2,0	>10000	31,96	9,38

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn	Mo
MN19007317	MUESTRA B F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	11,99	238,8	>10000	25,05	29,17	4134	57,9	>10000	1904	a<0,64

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	Sn	Sr	Te	Ti
MN19007317	MUESTRA B F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	763,5	7,68	739,19	2446	16,00	a<0,64	a<16	68,26	a<0,80	161,05

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598		
				Tl	V	Zn
MN19007317	MUESTRA B F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	a<0,64	62,85	3556

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N° 13315



Anexo N° 3: Informe de laboratorio muestra "C".



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-03649

Fecha de emisión: 9/07/2019

Página 1 de 1

Señores: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Dirección:
Atención: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Recepción: 3/07/2019
Realización: 3/07/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra
Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*563				*598					
				As ppm	Ag ppm	Al ppm	B ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Co ppm
MN19007318	MUESTRA C F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	306,99	>20,0	>10000	321,4	4419	1,43	7,0	>10000	36,56	16,05

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598										
				Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	In ppm	K ppm	Li ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm
MN19007318	MUESTRA C F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	58,88	1449	>10000	15,98	14,85	5064	79,0	>10000	2004	3,62	1712

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Te ppm	Ti ppm	Tl ppm
MN19007318	MUESTRA C F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	12,90	963,16	>10000	27,01	<0,64	69	122,54	<0,80	1168	<0,64

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598	
				V ppm	Zn ppm
MN19007318	MUESTRA C F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	51,37	5377

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114420

*<Valor numérico> = Límite de detección del método. *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N° 13313



Anexo N° 4: Informe de laboratorio muestra "D".



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-03650

Fecha de emisión: 9/07/2019

Página 1 de 1

Señores: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Dirección:
Atención: BRYAN RAUL JUAREZ CHAHUARA
Recepción: 3/07/2019
Realización: 3/07/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra
Lugar de análisis: Parque Industrial de Río Seco C-1 Cerro Colorado Arequipa Perú

Métodos ensayados

*563 Método de Ensayo para Arsénico por ICP-OES

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*563			*598							
				As ppm	Ag ppm	Al ppm	B ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Co ppm	
MN19007319	MUESTRA D F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	203,54	>20,0	>10000	337,2	6644	1,09	7,9	>10000	114,11	18,55	

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598										
				Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	Ga ppm	In ppm	K ppm	Li ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm
MN19007319	MUESTRA D F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	41,69	1815	>10000	9,59	6,41	5137	94,7	9126	2280	2,25	1885

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598									
				Ni ppm	P ppm	Pb ppm	Sb ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Te ppm	Ti ppm	Tl ppm
MN19007319	MUESTRA D F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	15,73	911,34	>10000	41,37	a<0,64	97	137,88	a<0,80	1527	a<0,64

Código Interno L.A.S.	(c) Nombre de Muestra	(c) Procedencia de Muestra	(c) Descripción de Muestra	*598	
				V ppm	Zn ppm
MN19007319	MUESTRA D F:29-05-19	No proporcionado por el cliente.	Relave	44,33	9185

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por la información suministrada por el cliente. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIP 114426

^a<Valor numérico> = Límite de detección del método, ^b<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

N° 13314

Anexo N° 5: Identificación de impactos ambientales.

ASPECTOS GENERALES	IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS E IMPACTOS						
	VERTIMIENTO DE EFLUENTES	EROSION	DISPERSIÓN DE METALES PESADOS	MONITOREO AMBIENTAL	ANALISIS DEL RELAVE	OTRAS SUSTANCIAS TOXICAS PRESENTES EN EL RELAVE	ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS
FÍSICO	Suelo	X	X	X		X	X
	Agua	X	X	X		X	
	Aire	X	X	X		X	
	Ruido						
BIOLOGICA	Flora	X	X	X		X	
	Fauna	X	X	X		X	
	Ecosistema	X	X	X		X	X
SOCIOCULTURALES	Generación de empleo				X		X
	Riesgo a la salud	X	X	X		X	
PAISAJE	Paisaje	X	X				X

Fuente: Elaboración propia

Anexo N° 6: Equipo de trabajo



Foto: Bryan R. Juárez