

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO A LA QUEBRADA MARGARITANI
POR INFILTRACIONES PROVENIENTES DE ACTIVIDADES
MINERAS Y SUS POTENCIALES IMPACTOS
A LA FLORA Y FAUNA”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

JOVANNA ESTHER PRETELL VIDAL

Lima – Perú

2024

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

TSP Jovanna Pretell Vidal 01.07.24.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	15%	14%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.oefa.gob.pe Fuente de Internet	2%
4	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	2%
5	WSP PERU S.A.. "Actualización y Modificación del Instrumento de Gestión Ambiental de la Planta de Fabricación de Cemento-IGA0019040", R.D. N° 255-2020-PRODUCE/DGAAMI, 2022 Publicación	1%
6	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO A LA QUEBRADA MARGARITANI
POR INFILTRACIONES PROVENIENTES DE ACTIVIDADES
MINERAS Y SUS POTENCIALES IMPACTOS
A LA FLORA Y FAUNA**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

JOVANNA ESTHER PRETELL VIDAL

Sustentada y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
PRESIDENTE

Ph.D. Diego Alejandro Sotomayor Melo
MIEMBRO

Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe
MIEMBRO

Mg. Lucio Villa Ramos
ASESOR

DEDICATORIA

*A mi mami Luz, por ser mi mayor ejemplo de lucha
y siempre creer en mí y darme la fuerza y
motivación para seguir mis sueños y las ganas de
superarme y hacerla sentir orgullosa.*

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanas y mi Gianella por su amor y apoyo constante y compartir cada uno de mis logros.

A Marisola por ser esa persona especial y soporte que me acompaña día a día.

A las mejores amigas que me dio la universidad y la vida: Mi Ara, Lucía y Liv, que han sido un modelo de superación para mí y por su apoyo, cariño y soporte en todo momento.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	2
1.1.1. Objetivo General.....	2
1.1.2. Objetivos Específicos.....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.1. La Minería en el Perú.....	3
2.1.2. Minería y los Recursos Hídricos.....	3
2.1.3. Proceso de Lixiviación en Minería	3
2.1.4. Afectación por el proceso de Lixiviación	4
2.1.5. Método de Tomografía Eléctrica	5
2.1.6. Identificación de Infiltración de Lixiviados por método Geoeléctrico	5
2.1.7. Caracterización de la calidad de agua	6
2.1.8. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS).....	6
2.2. MARCO LEGAL.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1. MATERIALES	13
3.2. MÉTODOS.....	13
3.2.1. Ámbito de Estudio	13
3.2.2. Descripción de la Línea Base	14
3.2.3. Identificación de los Componentes Asociados al proceso de contaminación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani	15

3.2.5. Análisis de impactos a la calidad de agua superficial y componente biótico.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. CONTEXTO LABORAL.....	18
4.2. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	19
4.3. RESULTADOS	19
4.3.1. Descripción de la línea base	19
4.3.2. Identificación de los componentes de la contaminación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani	24
4.3.3. Análisis de impactos	37
4.4. DISCUSIONES	46
4.4.1. Descripción de la línea base	46
4.4.2. Componentes de la contaminación de la calidad del agua de la quebrada Margaritani	47
4.4.3. Impacto a la calidad de agua y los componentes bióticos flora y fauna.....	49
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
VIII. ASEGURAMIENTO	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Límites Máximos Permisibles para Efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.....	9
Tabla 2: ECA para Agua–Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales	10
Tabla 3: IGAs aprobados por el MINEM para la unidad minera “Tucari”	15
Tabla 4: Monitoreo de Calidad de Agua – Agosto 2012	20
Tabla 5 Resultados de monitoreo y comparación con el ECA	21
Tabla 6: Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo biológico–Agosto 2012.....	23
Tabla 7: Lista de especies registradas	23
Tabla 8: Lista de especies de avifauna.....	24
Tabla 9: Lista de especies de mamíferos.....	24
Tabla 10: Prueba ABA en el DDN	26
Tabla 11: Ubicación de muestras de agua de afloramientos – Agosto 2017.....	34
Tabla 12: Resultados de laboratorio del muestreo en afloramientos – Agosto 2014	35
Tabla 13: Puntos de muestreo de calidad de la quebrada Margaritani–Agosto 2017.....	37
Tabla 14: Resultados de laboratorio muestreo quebrada Margaritani– agosto 2017	39
Tabla 15: Valoración del ICARHS	43
Tabla 16: Efectos adversos de metales pesados en la flora y fauna	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de componente de “Tucari”. ITS 2014	14
Figura 2: Metodología para la descripción de la línea base	15
Figura 3: Metodología para determinación de componentes asociados al proceso de contaminación.....	16
Figura 4: Metodología para el análisis del impacto al agua, flora y fauna.....	17
Figura 5: Estaciones de Monitoreo de Calidad de Agua – Agosto 2012	20
Figura 6: Superposición del Plano de Cobertura Vegetal sobre el área de influencia de las filtraciones	22
Figura 7: Interacción del componente minero depósito de desmonte norte con el componente ambiental agua.	25
Figura 8: Resultados de metales totales en muestras del depósito de desmonte norte.	26
Figura 9: Líneas de tomografía geoelectrica	27
Figura 10: Líneas de tomografía geoelectrica – Zona superior quebrada Margaritani	28
Figura 11: Rango de resistividad de 19 a 172 Ohm.m.....	29
Figura 12: Rango de resistividad entre 19 a 39 Ohm.m.....	29
Figura 13: Líneas de tomografía geoelectrica – Zona media quebrada Margaritani	30
Figura 14: Rango de resistividad entre 0 a 411 Ohm.m.....	31
Figura 15: Rango de resistividad entre 0 a 10 Ohm.m.....	31
Figura 16: Diagrama de Ficklin: Clasificación Hidroquímica	32
Figura 17: Diagrama de Ficklin: Filtraciones y agua residual	33
Figura 18: Mapa de ubicación de muestras de los afloramientos del DDN	34
Figura 19: Valor de PH	36
Figura 20: Concentración de STS.....	36
Figura 21: Concentración de arsénico.....	36
Figura 22: Concentración de cadmio	36

Figura 23: Concentración de cobre	36
Figura 24: Concentración de hierro disuelto	36
Figura 25: Concentración de plomo.....	37
Figura 26: Concentración de Zinc	37
Figura 27: Distribución de puntos de monitoreo de la quebrada Margaritani – Agosto 2017	38
Figura 28: Concentración de ph.....	40
Figura 29: Concentración de Conductividad eléctrica.....	40
Figura 30: Concentración de Sulfatos.....	40
Figura 31: Concentración de Aluminio.....	40
Figura 32: Concentración de arsénico.....	40
Figura 33: Concentración del cadmio	40
Figura 34: Concentración de cobalto	41
Figura 35: Concentración de cobre	41
Figura 36: Concentración de Hierro	41
Figura 37: Concentración de Manganeseo.....	41
Figura 38: Concentración de Níquel	41
Figura 39: Concentración de Zinc	41
Figura 40: Formula Base del ICARHS. ANA, 2020	42
Figura 41: Clasificación ICARHS de los puntos de muestreo de la quebrada Margaritani	43
Figura 42: Superposición de la tomografía eléctrica sobre la parte alta de la quebrada Margaritani	47
Figura 43: Superposición de los resultados de la tomografía geoelectrica sobre la parte media de la quebrada.....	48

RESUMEN

El presente trabajo monográfico analiza el caso de una unidad minera situada en la región de Moquegua la cual desarrolla actividades de explotación de minerales a tajo abierto, lixiviación en pad y recuperación de mineral en Planta de Merrill Crowe, a la cual se le acusa por presunta contaminación de la quebrada Margaritani, producto de la ejecución de actividades en su componente depósito de desmonte norte, lo que estaría provocando un daño al recurso hídrico y los componentes flora y fauna.

Para realizar la evaluación fue necesario conocer las características de la zona del proyecto, para lo cual se tuvo en cuenta los monitoreos realizados en dos (02) estaciones sobre la quebrada Margaritani realizados con fecha de agosto del 2012, obteniéndose como resultado excedencias respecto al Estándar de Calidad Ambiental (en adelante ECA), este resultado concluye la existencia de metales pesados previo a la ampliación del componente depósito de desmonte, en adelante DDN.

Al respecto de encontrar una relación entre el componente en mención DDN, con la aparición de afloramientos, se consideraron los resultados obtenidos del estudio de prospección geofísica, donde se encontró la presencia de lixiviados en el área donde se detectaron los afloramientos, así mismo, se realizó el muestreo de los afloramientos ubicados al pie del DDN, ya que ellos aportan a los tributarios de la Quebrada Margaritani, cuyos resultados superaron los Límites Máximos Permisibles.

Referente a determinar la existencia de contaminación en las fuentes de agua, y teniendo en cuenta que los afloramientos descargan sobre la quebrada Margaritani a través de sus tributarios, se realizó un muestreo en once (11) puntos ubicados a lo largo de la quebrada con fecha de agosto del 2017, verificando condiciones de contaminación por excedencias con respecto al ECA para agua. Adicionalmente, se comparó de manera adicional con la “Metodología para la Determinación del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales” conocido por las siglas ICARHS, donde el agua de la quebrada Margaritani fue calificada como Pésimo.

Palabras clave: Desmonte de mina, lixiviación, prospección geofísica, calidad del agua.

ABSTRACT

This monograph analyzes the case of the mine which carries out open pit mining activities, pad leaching and mineral recovery at the Merrill Crowe Plant, which is accused of alleged contamination of Margaritani river stream, as a result of the development of its activities in the northern waste of deposit rock, which would impact water, flora and fauna.

The base line conditions of the project were determined by analyzing two (02) samples taken from Margaritani stream in August 2012. Those results exceeded Category 3 ECA Water. That indicates the presence of heavy metals prior to the expansion of the northern waste rock deposit.

As for determining the relationship of the mining component “the northern waste of deposit rock”, with the appearance of outcrops, the results obtained from the geophysical prospecting study were considered, where was concluded the presence of leachates in the area where the outcrops were detected. The results of samples of the outcrops located at the foot of the waste rock deposit, which contribute to the tributaries of the Margaritani stream, showed that the Maximum Permissible Limits were exceeded.

To determine the existence of contamination in the water sources, considering that the outcrops discharge over the Margaritani stream and its tributaries, a sample was carried out at eleven (11) points located along the Margaritani stream in the month of August of 2017, verifying the contamination conditions of the stream due to exceedances of the values established in the ECA Water, Additionally, the Methodology for determining the Environmental Quality Index of Surface Water Resources ICARHS was used as a reference, where the water of the Margaritani stream was classified as terrible

Keywords: mine waste, leaching, geophysical prospecting, water quality.

I. INTRODUCCIÓN

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante OEFA), tiene como objetivo promover el cumplimiento de la normativa ambiental en los agentes económicos, con el propósito promover el desarrollo de las actividades económicas protegiendo el medio ambiente y alcanzar crecimiento sostenible. OEFA desempeña el rol de ente Rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (en adelante SINEFA).

El OEFA cuenta con tres (03) direcciones: i) Dirección de Supervisión Ambiental, quien tiene a su cargo las supervisiones in situ a las empresas fiscalizadas, ii) Dirección de Evaluación Ambiental, en donde se desarrollan los estudios e investigaciones de las condiciones de las zonas que rodean a las actividades económicas y iii) Dirección de Fiscalización Ambiental, es donde se recopila la información de las otras direcciones y se analizan criterios legales para determinar si la unidad fiscalizada ha cometido una infracción ambiental iniciando un Procedimiento Administrativo Sancionador (en adelante PAS).

La función de analista técnico en la Dirección de Fiscalización Ambiental del OEFA, específicamente en el área de minería, esta basada en analizar en gabinete toda la información recolectada durante las supervisiones realizadas a unidades mineras, y conectar los hechos detectados con la correspondiente normativa y/o obligación ambiental incumplida para elaborar un sustento objetivo e imparcial requerido para el correcto desarrollo del PAS a lo largo del cual participan los administrados mediante la presentación de descargos.

Dentro de los diversos procesos que se analizan en la Dirección de Fiscalización, se presentó el correspondiente a la supervisión ambiental realizada en abril del 2017 a la unidad minera "Tucari", durante dicha supervisión se detectaron afloramientos de agua cercanos al componente minero DDN los cuales descargaban sobre los tributarios de la quebrada Margaritani.

Es así que, en el desarrollo de mis funciones como analista técnico de la Dirección de Fiscalización Ambiental (en adelante DFAI), mediante un trabajo de investigación en gabinete se buscó encontrar el posible origen de dichos afloramientos haciendo uso de información presentada por el titular minero en sus Instrumentos de Gestión Ambiental (en

adelante IGA), información proveniente de la Dirección de Evaluación Ambiental acerca de la zona que rodeaba a la unidad minera “Tucari” y otras referencias y estudios que sirvieran para determinar efectos de contaminación sobre la quebrada Margaritani y los componentes biológicos que hagan uso de la misma.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Evaluar la alteración de la calidad del agua de la quebrada Margaritani por procesos de lixiviación y/o infiltración proveniente del Depósito de Desmonte Norte de la unidad minera “Tucari” y sus principales impactos sobre la flora y fauna circundante para el año 2017.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de la línea base de la calidad de agua de la quebrada Margaritani y los componentes bióticos (flora y fauna) circundantes, localizados al pie del “Depósito de Desmonte Norte” de la unidad minera “Tucari”.
- Identificar componentes asociados al proceso contaminación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani (afloramientos que descarguen sobre los tributarios), vinculados a procesos de infiltración de lixiviados provenientes del “Depósito de Desmonte Norte” de la unidad minera “Tucari”.
- Evaluar el impacto de los parámetros físico-químicos de los componentes asociados al proceso de contaminación sobre la calidad del agua de la quebrada Margaritani y sus potenciales efectos sobre la flora y fauna circundante.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. La Minería en el Perú

El Perú ha obtenido posiciones destacables en el ranking mundial de países productores de minerales, por ejemplo, alcanzó el primer puesto en producción de plata en el 2009, puesto dos en producción de zinc y cobre, y tercer lugar para el bismuto, telurio, estaño y mercurio. Igualmente, en comparación con Latinoamérica, el quinto lugar fue su posición más baja, como productor de hierro. (Herrera Catalán & Millones Destéfano, 2011).

2.1.2. Minería y los Recursos Hídricos

Existe una relación directa entre la actividad minera y el recurso hídrico, al ser este último un material necesario en varios de los procedimientos metalúrgicos. El agua se utiliza en conjunto con otros insumos químicos para hacer un lavado de la roca extraída y en este proceso es posible apartar el mineral valioso del resto de roca. Este proceso a su vez, genera residuos que son la mezcla del agua con los químicos utilizados más la roca triturada a lo cual llamamos “relaves mineros”. La problemática se origina cuando estos “relaves mineros” no reciben un tratamiento y manejo adecuado y llegan hasta cuerpos de agua deteriorando su calidad debido a su toxicidad. (Herrera Catalán & Millones Destéfano, 2011).

2.1.3. Proceso de Lixiviación en Minería

El método de lixiviación en minería, describe el proceso en como se rescata el mineral con valor económico a partir del total de material de roca extraído. Consiste en la preparación de una solución de agua con otros compuestos químicos como ácidos y cianuro, esta solución al ponerse en contacto con la pila de roca actuará como un disolvente y ayudará a que las partículas no interrumpan el proceso de flotación y que las partículas de roca no valiosas floten dando como producto una solución enriquecida del mineral ya sea oro, cobre u otro de interés. (Herrera Catalán & Millones Destéfano, 2011).

La solución rica en mineral se dirige a través de tuberías colectoras hacia la planta de procesos para ser refinado. Es posible crear un circuito cerrado recirculando la solución excedente hacia las pilas de roca para repetir el proceso. (Jain, Cui, & Domen, 2016).

2.1.4. Afectación por el proceso de Lixiviación

Las soluciones de lixiviación son de carácter tóxico para el ambiente, ya que pueden contener metales pesados y otros compuestos como el cianuro el cual es utilizado para la extracción de oro. Es por ello que, un manejo inadecuado o falta de mantenimiento de las instalaciones pueden generar un riesgo de derrames, fugas o vertimientos no deseados sobre el suelo o fuentes de agua, deteriorando así la calidad de los recursos naturales del entorno. (Jain, Cui, & Domen, 2016).

El drenaje ácido de mina (en adelante DAM), es otro de los efectos negativos en algunas operaciones mineras, ya que, las pilas de mineral sulfuroso extraído de la mina, se oxidan al estar expuestos al agua, aire y microorganismos del ambiente, lo que genera un flujo de agua ácida que afecta a su entorno, este efecto se puede encontrar en componentes como bocaminas, tajo abierto, pilas de desmonte u otros que sean parte de zonas mineras tanto en estado de ejecución como abandono. (Blowes, Ptacek, & Weisener, 2003). Los metales presentes en el DAM los cuales se caracterizan por tener un pH ácido, pueden entrar en contacto con fuentes de agua y disolverse afectando su calidad y composición al aportarle concentraciones elevadas de metales pesados lo cual perjudica al ecosistema acuático. (Simate & Ndlovu, 2014).

Existen cinco (05) aspectos clave para caracterizar al DAM y fuentes de agua contaminados por DAM. El primero el valor del potencial de hidrógeno, donde sus valores bajos indican que son ácidos y valores alto indican que es alcalino; segundo, la existencia de metales pesados; tercero, la concentración de metales como el aluminio y hierro; cuarto, la presencia de sulfatos y finalmente cinco si contiene sólidos en suspensión que se aprecia como un alto grado de turbidez del cuerpo de agua. (Schmiermund & Drozd, 1997).

Por lo tanto, cuando se presenta material sulfuroso de mina expuesto al ambiente y éste entra en un proceso de oxidación, nos va a dar como productos acidez en el medio, liberación de metales pesados y formación de sulfatos los cuales como se mencionó anteriormente, son señales para determinar que existe drenaje ácido de mina, en caso de que el DAM filtre hacia cuerpos de agua provocaría un efecto nocivo en el ambiente. (Simate & Ndlovu, 2014)

2.1.5. Método de Tomografía Eléctrica

La tomografía eléctrica es una técnica que nos permite conocer características del subsuelo. Consiste en introducir corriente en un área de terreno superficial a través de electrodos metálicos que se transportan de forma tridimensional en el subsuelo. Estas mediciones nos mostrarán cómo se distribuyen diferentes valores de resistividad a diferentes profundidades del subsuelo. Con los resultados se pueden proyectar representaciones en 2D y 3D del perfil del subsuelo. (Delgado, 2019)

Una vez obtenida la representación gráfica de resistividades en el subsuelo, es posible detectar variaciones o discontinuidades las cuales pueden corresponder a diferentes estructuras geológicas como cavidades kársticas, asimismo, los valores de resistividad pueden cambiar por encontrar contenido de minerales, agua, poros, entre otros. (Delgado, 2019)

2.1.6. Identificación de Infiltración de Lixiviados por método Geoeléctrico

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, es posible determinar la existencia de contaminación por lixiviados mediante el uso de la tomografía geoeléctrica, ya que los lixiviados se caracterizan por tener una alta conductividad y siendo que la conductividad es inversamente proporcional a la resistividad, cuando se encuentran valores de resistividad menores a $5 \Omega \text{ m}$ es posible asociar a presencia de lixiviados en el subsuelo.

Por lo tanto, se puede decir que diferencias de resistividad en el suelo nos permite señalar dos características importantes para el estudio, en primer lugar, conocer las características litológicas de los componentes mineros por analizar, y segundo, la existencia de un medio permeable el cual promueva la infiltración de lixiviados hacia el subsuelo. Los valores de resistividad de la roca pueden variar de acuerdo a su porosidad, tanto por la cantidad de poros que posee, su disposición geométrica y si los mismos contienen o no agua, es decir que, cuando se cuenta con un medio que es poroso, esto permitirá una mayor fluidez o movilidad de la concentración de iones en el medio que significa una mayor conductividad la cual al ser inversamente proporcional a la resistividad, nos da como resultado valores bastante bajos de resistividad que como se ha mencionado es lo que nos permite determinar la existencia de lixiviados. (Orellana, 1982).

2.1.7. Caracterización de la calidad de agua

Para realizar la caracterización de la calidad de agua en la quebrada Margaritani se dan de considerar cuatro (04) tipos de fuente de agua: i) afloramientos de agua los cuales surgen del suelo y pueden estar asociados a la presencia de lixiviados, ii) manantiales, que, a diferencia del caso anterior, son afloramientos naturales de agua que fluyen en la superficie, iii) las aguas subterráneas que discurren naturalmente por los acuíferos en el subsuelo hacia las zonas de menor elevación, es posible detectarlas con el uso de piezómetros (MINAM, 2013) y iv) subdrenajes, que son aquellos cursos de agua que discurren por debajo de componentes de una unidad minera.

2.1.8. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

Los índices de calidad ambiental, son una herramienta de mucha importancia ya que nos permite otorgarle una calificación a la calidad del agua de manera cualitativa y cuantitativa y transmitir estos resultados de manera sencilla a diferentes tipos de público ya sea gubernamental, privado o la población misma, además, se puede recopilar dichos resultados para poder establecer tendencias y comparar su variación en el espacio y tiempo. La escala del ICARHS va del 0 al 100, donde 100 corresponde a la categoría excelente y 0 a mala calidad.

El Canadian Water Quality Index Council of Ministers of the Environment (conocido como CCME_WQI) es un índice ambiental ampliamente utilizado para el análisis de calidad de agua el cual analiza en conjunto la variación de la calidad en el tiempo, la cantidad de parámetros excedidos según el estándar de referencia utilizado y la proporción en la que se ha superado dicho valor del estándar. (ANA, 2020)

Para realizar análisis sobre el agua en el Perú, es necesario tener en cuenta las características y condiciones naturales presentes en el territorio peruano, es por ello que, basado en la metodología del estándar canadiense, se han realizado las modificaciones necesarias considerando como norma de referencia el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (en adelante ECA - Agua) aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM-ANA, para poder general el ICARHS aplicable para evaluar la calidad del agua en el Perú. (ANA, 2020)

2.2. MARCO LEGAL

Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero aprobado mediante D.S. N° 040-2014-EM

“Artículo 16°.- De la responsabilidad ambiental

El titular de la actividad minera es responsable por las emisiones, efluentes, vertimientos, residuos sólidos, ruido, vibraciones y cualquier otro aspecto de sus operaciones, así como de los impactos ambientales que pudieran generarse durante todas las etapas de desarrollo del proyecto, en particular de aquellos impactos y riesgos que excedan los Límites Máximos Permisibles y afecten los Estándares de Calidad Ambiental, que les sean aplicables o afecten al ambiente y salud de las personas.

Consecuentemente el titular de la actividad minera debe adoptar oportunamente las medidas de prevención, control, mitigación, recuperación, rehabilitación o compensación en términos ambientales, cierre y post cierre que correspondan, a efectos de evitar o minimizar los impactos ambientales negativos de su actividad y potenciar sus impactos positivos.”

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente

“Artículo 74°.- De la responsabilidad general

Todo titular de operaciones es responsable por las emisiones, efluentes, descargas, y demás impactos negativos que se generen sobre el ambiente, la salud y los recursos naturales, como consecuencia de sus actividades. Esta responsabilidad incluye los riesgos y daños ambientales que se generen por acción u omisión.

Artículo 75°.- Del manejo integral y prevención en la fuente

75.1 El titular de operaciones debe adoptar prioritariamente medidas de prevención del riesgo y daño ambiental en la fuente generadora de los mismos, así como las demás medidas de conservación y protección ambiental que corresponda en cada una de las etapas de sus operaciones, bajo el concepto de ciclo de vida de los bienes que produzca o los servicios que provea, de conformidad con los principios establecidos en el Título Preliminar de la presente Ley y las demás normas legales vigentes”.

Reglamento de la Ley N° 27446, Ley de Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, aprobado mediante D.S. N° 019-2009-MINAM

“Artículo 13°.- Instrumentos de gestión ambiental complementarios al SEIA

Los instrumentos de gestión ambiental no comprendidos en el SEIA son considerados instrumentos complementarios al mismo. Las obligaciones que se establezcan en dichos instrumentos deben ser determinadas de forma concordante con los objetivos, principios y criterios que se señalan en la Ley y el presente Reglamento, bajo un enfoque de integralidad y complementariedad de tal forma que se adopten medidas eficaces para proteger y mejorar la salud de las personas, la calidad ambiental, conservar la diversidad biológica y propiciar el desarrollo sostenible, en sus múltiples dimensiones.

(...)

Artículo 29°.- Medidas, compromisos y obligaciones del titular del proyecto

Todas las medidas, compromisos y obligaciones exigibles al titular deben ser incluidos en el plan correspondiente del estado ambiental sujeto a la Certificación Ambiental. Sin perjuicio de ello, son exigibles durante la fiscalización todas las demás obligaciones que se pudiesen derivar de otras partes de dicho estudio, las cuales deberán ser incorporadas en los planes indicados en la siguiente actualización del estudio ambiental”.

Funciones del OEFA

El OEFA tiene entre una de sus funciones, la función evaluadora la cual conforme a la Ley N° 29325 Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA), señala que la entidad está en capacidad de determinar el estado de la calidad de los componentes ambientales tales como el aire, agua, ruido entre otros de manera conjunta y continúa aplicado a las actividades económicas que son fiscalizadas por el OEFA. De esta manera, se evalúa si hay un efecto negativo en los componentes ambientales que se encuentren alrededor de un área de proyecto y poder determinar si hay una relación de causa-efecto entre el desarrollo de la actividad minera y su impacto en el área circundante.

En cuanto a la función fiscalizadora del OEFA, esta busca conectar los hechos objetivos y concretos y asociarlos con la normativa legal que corresponda, de manera que se demuestre la existencia de incumplimiento legal por parte del titular de la actividad económica y dar inicio al desarrollo de PAS contando con un sustento sólido acerca de las responsabilidades y medidas y sanciones a aplicar.

Límites Máximos Permisibles

Los Límites Máximos Permisibles (en adelante LMP), para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas, fueron aprobados mediante D.S. N° 010-2010-MINAM, en donde se establecen cual es la concentración máxima permitida de parámetros físico-químicos y biológicos para los efluentes provenientes de mina, de acuerdo a estos valores es posible concluir que en caso se excedan los valores ello puede generar un efecto nocivo en el cuerpo receptor de dicho efluente.

Tabla 1: Límites Máximos Permisibles para Efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas.

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

FUENTE: MINAM

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua

El ECA para agua vigente fue aprobados mediante D.S. N° 004-2017-MINAM, en ellos se establece los valores de concentración de parámetros físico-químicos y biológicos para agua, el cual es el componente ambiental fundamental de los ecosistemas acuáticos. Mientras que no se exceden dichos valores no existe un riesgo significativo para el ambiente y el ser humano.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

a) Subcategoría D1: Riego de vegetales

Esta subcategoría corresponde a los estándares que el agua que debe cumplir para que califique como apta para su uso en la agricultura y se utilice en zonas de riego de cultivos,

considerando que esta agua pueda ser utilizada en varios procesos productivos de la actividad agrícola.

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

En esta subcategoría se consideran aquellas concentraciones en el agua que no representen un riesgo y que no se consideren tóxicas para el consumo de animales mayores por ejemplo el ganado vacuno y equino y animales menores como el ganado porcino, caprino y otros como cuyes, conejos, etc.

Tabla 2: ECA para Agua – Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales

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

Continuación ...

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4

Continuación ...

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

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

(b): Después de filtración simple.

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

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

Nota 4:

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

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

Fuente: MINAM

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

- Informes de Supervisión y Evaluación Ambiental de la unidad minera “Tucari” y de su área de influencia. (documentos de acceso público). Estos informes contienen resultados de monitoreo de agua y estudios de caracterización de componentes mineros.
- Instrumentos de Gestión Ambiental aprobados de la unidad minera “Tucari”, estos estudios contienen información sobre la línea base del área de estudio del proyecto.
- Google Earth Pro, Programa informático que importa imágenes satelitales y permite la visualización de información geoespacial de los análisis de muestreo físico-químico y la delimitación de los componentes asociados al proceso de contaminación de la quebrada Margaritani. Adicionalmente, este programa permite la superposición sobre imágenes satelitales de alta resolución, colectadas a diferentes periodos de análisis.
- Ofimática (Microsoft Word y Excel)
- Materiales de escritorio
- Equipos electrónicos: Laptop

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Ámbito de Estudio

La unidad minera “Tucari” se ubica en el distrito de Carumas, provincia de Mariscal Nieto, región Moquegua, dentro de la unidad hidrográfica Coralaque, en la parte alta de la cuenca Tambo, concretamente en la microcuenca Margaritani, entre las quebradas Apostolini y Margaritani. La figura N°1, muestra la ubicación de los componentes de la unidad minera. El análisis fue realizado en el marco del proceso administrativo sancionador (PAS) correspondiente a la supervisión ambiental realizada a la unidad “Tucari” entre el 17 y 20 de abril del 2017.

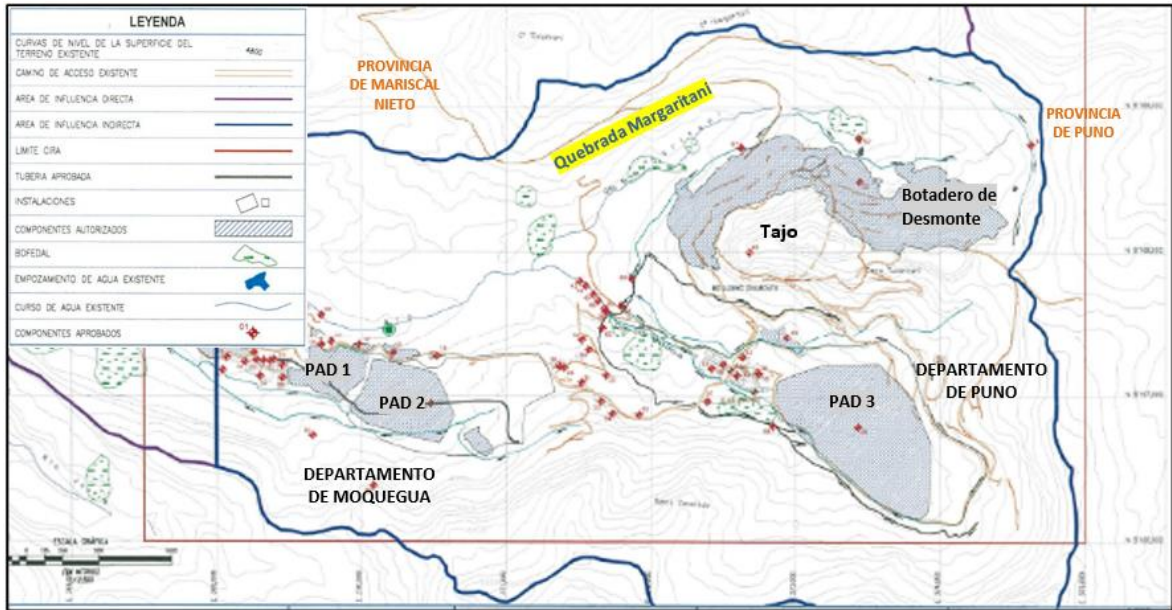


Figura 1: Mapa de ubicación de componente de “Tucari”. ITS 2014

3.2.2. Descripción de la Línea Base

Paso 1: Selección de información de línea base

Se seleccionaron los IGAs aprobados de la unidad “Tucari”, con información de la calidad de agua y componentes biológicos, los cuales se detallan en la Tabla 3.

Paso 2: Información de línea base del cuerpo de agua superficial

Para describir el cuerpo de agua superficial, se seleccionó la información correspondiente a la microcuenca de la quebrada Margaritani ya que su ubicación corresponde al área del componente minero objeto de estudio. Así mismo, para calificar estado de calidad de agua inicial, se consideró los resultados del muestreo ejecutado en agosto del 2012 en dos (02) puntos de monitoreo de la quebrada Margaritani, los cuales fueron comparados con los ECA para agua.

Paso 3: Información de línea base biológica

En base a los resultados del muestreo biológico que se realizó en agosto del 2012, se han identificado especies de flora y fauna que pudieran ser potencialmente afectados por la contaminación del área del proyecto. Ver Figura 2.

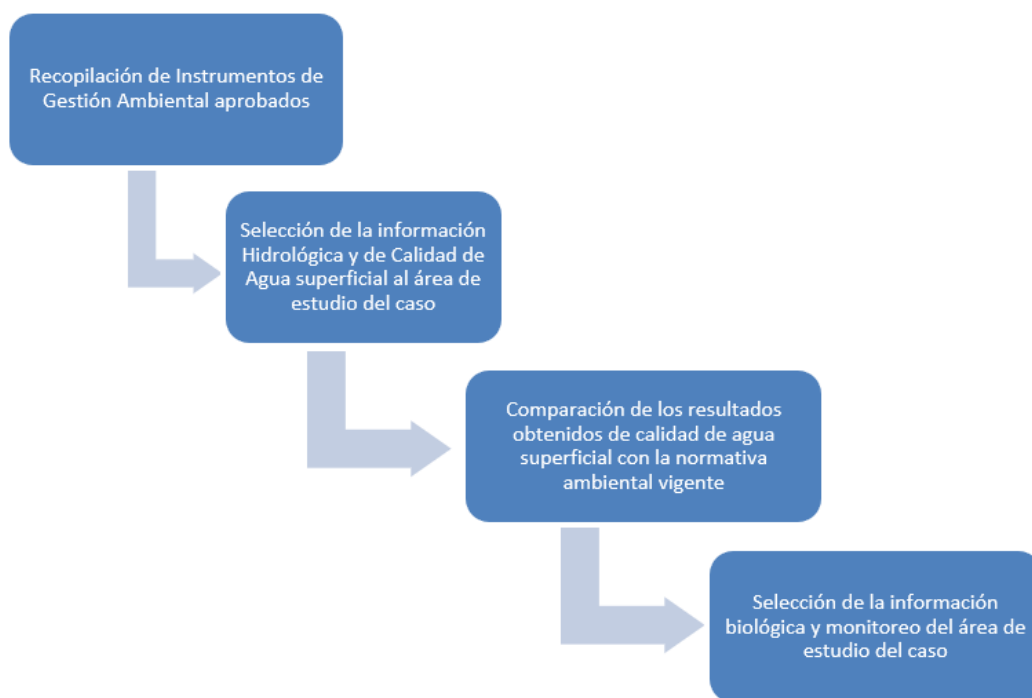


Figura 2: Metodología para la descripción de la línea base

Tabla 3: IGAs aprobados por el MINEM para la unidad minera “Tucari”

Ítem	Instrumento de Gestión Ambiental	Resolución	Fecha de Aprobación
1	Cuarta Modificación del Plan de Cierre de Minas	R.D. N° 286-2016-MEM-DGAAM	27 de setiembre del 2016
2	Tercera Modificación del Plan de Cierre de Minas	R.D. N° 382-2015-MEM-DGAAM	1 de octubre del 2015
3	Modificación del Estudio de Impacto Ampliación de operaciones del PAD 3 y botadero de desmonte	R.D. N° 501-2014-MEM-DGAAM	2 de octubre del 2014
4	Informe Técnico Sustentatorio para la Implementación de nueva poza de volatilización	R.D. N° 006-2014-MEM-AAM	6 de enero del 2014
5	Actualización del Plan de Cierre de Minas	R.D. N° 008-2014-MEM-AAM	8 de enero del 2014

3.2.3. Identificación de los Componentes Asociados al proceso de contaminación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani

Paso 1: Descripción del componente minero

Se procedió a describir el componente minero asociado a la fuente de contaminación, es decir el depósito de desmonte norte (DDN), para lo cual se realizó la toma de nueve (09)

muestras para análisis de metales totales, donde se determinó qué metales se encuentran en mayor concentración.

Paso 2: Determinación de la generación de acidez

La generación de acidez del depósito de desmonte norte, se realizó mediante la prueba de ABA (balance ácido – base) ejecutada sobre cuatro (04) muestras del depósito.

Paso 3: Determinación de presencia de lixiviados

Se analizaron los resultados de las líneas de tomografía geoelectrica realizadas en la parte alta y media de la quebrada Margaritani, en cuya área se encuentra el depósito de desmonte norte y los afloramientos detectados durante la supervisión.

Paso 4: Similitud de composición química

Mediante el diagrama de Ficklin, se evaluaron los resultados de la caracterización hidroquímica, entre el cuerpo de agua contaminado (quebrada Margaritani) y las fuentes de contaminación (afloramientos).

Paso 5: Evaluación de la calidad de los afloramientos

Se realizó la comparación de los resultados del muestreo realizado en agosto del 2017 de dos (02) puntos que corresponden a los afloramientos detectados, los cuales fueron puestos en comparación con los LMP para actividades minero metalúrgicas. Ver Figura 3.

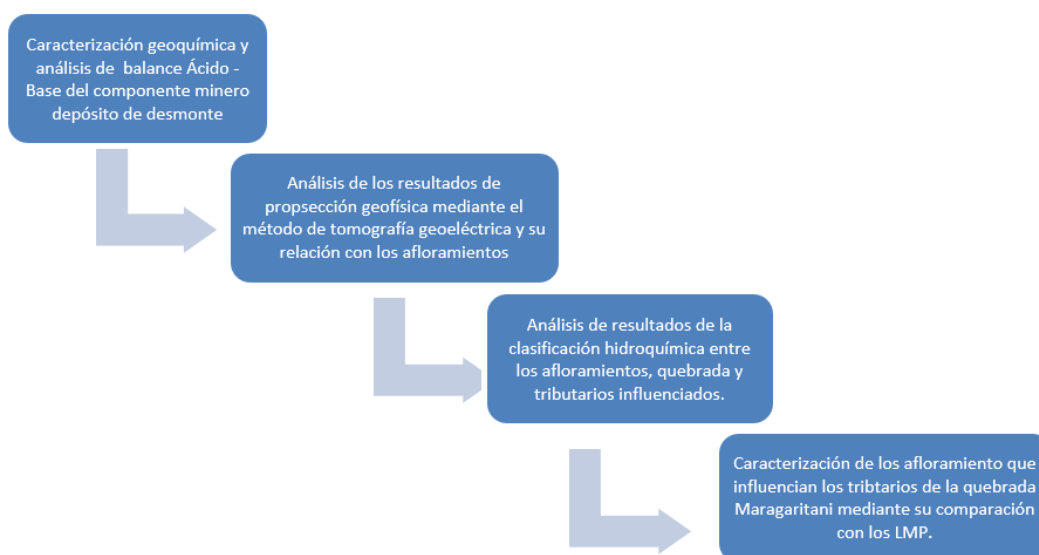


Figura 3: Metodología para determinación de componentes asociados al proceso de contaminación

3.2.5. Análisis de impactos a la calidad de agua superficial y componente biótico

Paso 1: Evaluación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani

Se compararon los resultados del monitoreo realizado en agosto del 2017 en tres zonas de la quebrada Margaritani: i) aguas arriba de la fuente de contaminación, ii) zona media de confluencia con los afloramientos y iii) aguas debajo de la influencia de los afloramientos, con los ECA para agua categoría 3.

Paso 2: Determinación del Índice de Calidad Ambiental

Se utilizó la metodología para la determinación del Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) de manera referencial, para lo cual se tomaron en consideración los once (11) puntos muestreados de la quebrada Margaritani en agosto del 2017.

Paso 3: Establecimiento de posibles impactos a la flora y fauna

Mediante revisión bibliográfica, se describieron los efectos nocivos a la flora y fauna asociados a una alta concentración de aquellos parámetros con valores por encima de los ECA para agua. Ver Figura 4.

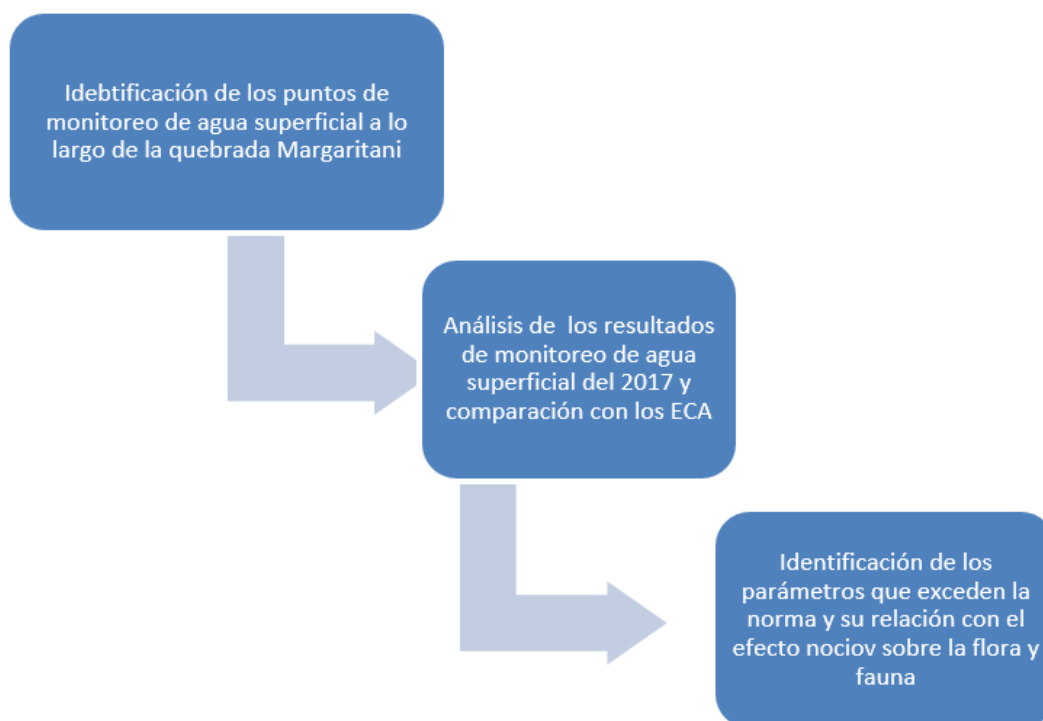


Figura 4: Metodología para el análisis del impacto al agua, flora y fauna.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONTEXTO LABORAL

El OEFA, tiene como objetivo promover el cumplimiento de lo normativa ambiental aplicable a los agentes económicos en su búsqueda para asegurar el desarrollo de las actividades económicas en conjunto con el respeto y cuidado al medio ambiente generando un crecimiento sostenible para el país. El OEFA es la autoridad con competencia de acuerdo al SINEFA.

En mi función como analista técnico del área de minería dentro de la Dirección de Fiscalización Ambiental del OEFA, tuve como tarea la interpretación de los hechos detectados en las supervisiones desde el enfoque de la verificación del cumplimiento de las obligaciones ambientales y construir el soporte técnico para la determinación del sentido de responsabilidad o no del titular minero frente a los hallazgos de la supervisión en campo, describir el daño potencial al medio ambiente asociado a la conducta infractora y en caso de ser necesario establecer las medidas correctivas, todo durante la vigencia del PAS.

Para poder desempeñarme como especialista ambiental, he recurrido a mis conocimientos en las materias de derecho ambiental, mediante la cual, se analizaban normas legales de gran importancia como las relacionadas al SEIA, la Ley General del Ambiente, los ECA's para agua y acerca de los términos de referencia para la elaboración de los instrumentos de gestión ambiental.

El entendimiento de la industria minera desde sus etapas, componentes principales, procesos y sus posibles impactos en el medio ambiente, fue adquirido en la asignatura de prevención contra la contaminación minera. Asimismo, los conocimientos sobre ecología ambiental me permitieron comprender el funcionamiento de los factores ambientales de manera independiente y la interacción entre los mismos en el ecosistema.

Finalmente, los cursos de hidrología, química ambiental y contaminación de aguas, fueron clave para poder interpretar los resultados de laboratorio producto de los monitoreos ambientales, deducir sus posibles causas e impactos en los componentes receptores.

4.2. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En agosto del 2017, se realizó la supervisión ambiental a la unidad minera “Tucari”, la Dirección de Supervisión elaboró un expediente en el cual se compilan los hallazgos detectados en campo, se adjuntan medios probatorios como fotografías, informes de ensayo de laboratorio y descripción de los componentes mineros verificados, dicho expediente llega a la Dirección de Fiscalización en donde se desarrolla un trabajo de gabinete con una revisión de los antecedentes de la empresa y selección de la normativa ambiental aplicable.

Dentro de los hallazgos detectados en campo, se encontró la presencia de afloramientos de agua cercanos al componente depósito de desmonte norte acerca de los cuales se requería determinar su origen, ya sea de origen natural o de origen antrópico como consecuencia del desarrollo de las actividades mineras, específicamente por la infiltración de lixiviados proveniente del depósito de desmonte.

Acerca de las características de los afloramientos detectados, se encontró que tenían alto contenido metálico y este flujo discurría hasta alcanzar a los tributarios de la quebrada Margaritani, este hecho estaría afectando a la quebrada y todo el ecosistema que se desarrolla en función de dicho cuerpo de agua y es por ello que se requiere realizar la investigación en gabinete necesaria respecto del origen de los afloramientos con la finalidad de determinar la existencia de responsabilidad y poder determinar las medidas correctivas necesarias para cesar el efecto nocivo sobre el cuerpo receptor.

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Descripción de la línea base

A. Caracterización de la línea base de la calidad de agua de la quebrada Margaritani

Conforme a lo señalado en el IGA del proyecto “Tucari”, en agosto del 2012 se ejecutó un monitoreo de agua en donde se establecieron dos (02) puntos de muestreo en la quebrada Margaritani. La descripción de las estaciones de monitoreo se detalla en la Tabla 4 y Figura 5.

Tabla 4: Monitoreo de Calidad de Agua – Agosto 2012

Código de Estación	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18		Altitud m.s.n.m.
		Norte	Este	
E-1	Aguas arriba de la Quebrada. Margaritani	8168548	372304	4906
E-5	Aguas abajo de la Quebrada Margaritani	8167763	371159	4791

FUENTE: Modificación del Estudio de Impacto Ambiental – R.D. N° 501-2014-MEM-DGAAM



Figura 5: Estaciones de Monitoreo de Calidad de Agua – Agosto 2012

Los parámetros evaluados en el cuerpo de agua superficial de la quebrada Margaritani, fueron comparados con el ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (D.S. 004-2017-MINAM). En la Tabla 5 se presentan los resultados del muestreo de agosto 2012.

Tabla 5 Resultados de monitoreo y comparación con el ECA

Parámetros	Unidad	Quebrada Margaritani		D.S. 004-2017-MINAM ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales-	
		E-1	E-5	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
Campo					
pH	(Unid. pH)	2.72	2.79	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
Conductividad	(μ S/cm)	2690	2003	2500	5000
Oxígeno Disuelto	mg/L			≥ 4	≥ 5
Físico-químicos					
Cianuro Wad	mg/L	<0.005	<0.005	0.1	0.1
Aluminio	mg/L	263.1	151.5	5	5
Arsénico	mg/L	0.016	0.535	0.1	0.2
Bario	mg/L	0.0039	0.0169	0.7	-
Berilio	mg/L	0.0080	0.0041		
Boro	mg/L	0.057	0.076	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	0.0511	0.0639	0.01	0.05
Calcio	mg/L	83.95	51.95		
Cobalto	mg/L	0.398	0.230	0.05	1
Cromo VI	mg/L	0.016	0.015		
Cobre	mg/L	4.503	1.236	0.2	0.5
Hierro	mg/L	73.41	112.3	5	
Litio	mg/L	0.065	0.030	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	17.78	9.735		250
Manganeso	mg/L	11.26	5.532	0.2	0.2
Mercurio	mg/L	<0.0001	0.0002	0.001	0.01
Níquel	mg/L	0.436	0.323	0.2	1
Plata	mg/L	<0.0008	<0.0008		
Plomo	mg/L	0.089	0.007	0.05	0.05
Selenio	mg/L	-	<0.0001	0.02	0.05
Sodio	mg/L	15.45	9.61		
Zinc	mg/L	7.072	3.832	2	24

FUENTE: Modificación del EIA – R.D. 501-2014-MEM-DGAAM

Parámetros que superaron lo establecido por el ECA para Agua

Por lo tanto, los resultados del análisis de calidad de agua de la quebrada Margaritani, tomados en agosto 2012, verifican condiciones de pH ácido en ambas estaciones, asimismo, las concentraciones de metales totales tales como: aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc superaron los ECA para agua Categoría 3 – Riego de vegetales y bebida de animales. Dichos resultados confirman condiciones de contaminación en la quebrada Margaritani, previos a la ampliación del componente minero depósito de desmonte norte de la unidad minera “Tucari”.

B. Caracterización de la línea base de los componentes bióticos (flora y fauna) circundantes al depósito de desmonte norte de la unidad minera “Tucari”.

Como parte de la MEIA Tucari 2014, se desarrolló la descripción biológica del área del proyecto, con la finalidad de determinar las interrelaciones entre los componentes que conforman los ecosistemas y hábitats presentes con las actividades a realizar, de tal modo que permita interpretar cómo las mismas pueden verse afectadas.

Teniendo en cuenta el plano de cobertura vegetal de la MEIA Tucari 2014, se realizó una superposición sobre el área de influencia de las filtraciones con la finalidad de detectar que formaciones vegetales pre existen en el área. Tal como se aprecia en la Figura 6.

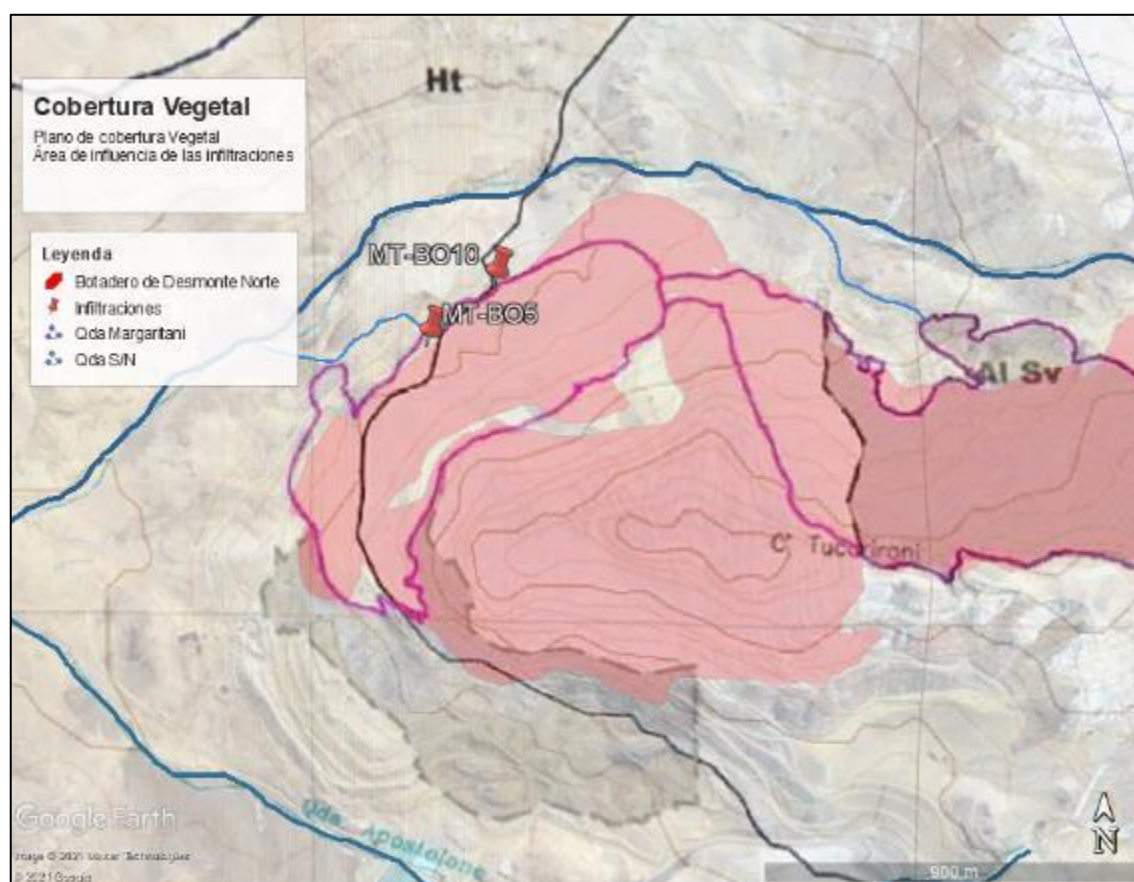


Figura 6: Superposición del Plano de Cobertura Vegetal sobre el área de influencia de las filtraciones

Según lo observado en la figura precedente, se aprecia que el área de influencia, se encuentra sobre la cobertura vegetal del tipo Herbazal de Tundra (Ht), la cual se caracteriza por presentar herbáceas de menor crecimiento, situado sobre los 4500 msnm, utilizado para pastoreo selectivo para camélidos. Ciertas especies que crecen en bofedal y césped de puna pueden replicarse en la formación herbazal de tundra, con bajo crecimiento. En general,

existe bajo desarrollo y diversidad de flores ocasionado por las condiciones climáticas adversas.

Como parte del trabajo de campo realizado en noviembre del 2012 se establecieron transectos para la evaluación de la flora, de los cuales, para el presente análisis se están considerando las estaciones TB-4 y TB-5, por encontrarse próximas al área de interés.

Tabla 6: Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo biológico – Agosto 2012

Código de Estación	Formación Vegetal	Coordenadas UTM WGS 84		Altitud m.s.n.m.
		Zona 19		
		Norte	Este	
TB-04	Herbazal de Tundra	8166756	372144	4870
TB-05	Herbazal de Tundra	8168499	371118	4840

FUENTE: Informe Técnico Sustentatorio – D.S. N° 440-2014-MEM-DGAAM

i. Flora

En el área de la unidad minera “Tucari” se desarrolla una vegetación predominantemente de tipo herbáceo, mayoritariamente gramíneas (Poaceae), zonas pobladas con arbustos en donde el frío no es tan hostil, también se encuentran dicotiledóneas de tamaño bajo donde predomina la humedad, es decir cerca de ríos, quebradas o bofedales.

Los resultados del análisis de los transectos de Ht, indican una abundancia de 154 individuos de flora los cuales se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7: Lista de especies registradas

N°	Familia	Especie	Nombre común
1	Asteraceae	Belloa sp.	
2	Asteraceae	Parastrephia lucida	Tola
3	Asteraceae	Perezia coerulescens Wedd.	Sutuma, valeriana
4	Poaceae	Festuca dolichophylla	Paja brava

FUENTE: Informe Técnico Sustentatorio – D.S. N° 440-2014-MEM-DGAAM

ii. Fauna

Conforme a los resultados de monitoreo de la línea base del 2do ITS Tucari 2014, en el análisis de la avifauna, en la formación vegetal Herbazal de Tundra (Ht) solo se evidenciaron tres (03) individuos de las especies *Diuca speculifera* y *Cinclodes albiventris*.

En el monitoreo de mamíferos se detectaron tres (03) especies: *vicugna vicugna* (vicuña), *Lagidium peruvianum* (vizcacha) y *Hippocamelus antisensis* (tarura), encontrándose para el transecto que corresponde a la formación vegetal Ht una abundancia de dos (02) individuos de la especie *Lagidium peruvianum* (vizcacha) las cuales se detallan en la Tabla 8 y Tabla 9.

Tabla 8: Lista de especies de avifauna

Nº	Familia	Especie	Nombre común
1	Emberizidae	<i>Diuca speculifera</i>	
2	Furnariidae	<i>Cinclodes albiventris</i>	

FUENTE: Informe Técnico Sustentatorio – D.S. N° 440-2014-MEM-DGAAM

Tabla 9: Lista de especies de mamíferos

Nº	Familia	Especie	Nombre común
1	Chinchillidae	<i>Lagidium peruvianum</i>	vizcacha

FUENTE: Informe Técnico Sustentatorio – D.S. N° 440-2014-MEM-DGAAM

Por lo tanto, los registros del muestreo biológico de agosto 2012, que se presentaron en el IGA de “Tucari”, verifica cuales son las especies biológicas que habitan en la zona donde se emplaza en componente depósito de desmonte norte, es decir aquellas especies que serían susceptibles en caso de contaminación en el área.

4.3.2. Identificación de los componentes de la contaminación de la calidad de agua de la quebrada Margaritani

Producto de la supervisión realizada a la unidad minera “Tucari” se detectaron afloramientos localizados al pie del depósito de desmonte norte, los cuales descargaban sobre tributarios de la quebrada Margaritani (quebrada S/N 1 y quebrada S/N 2), afectando la calidad del agua de dicha quebrada. En la Figura 7, se han identificado los componentes involucrados en el proceso de contaminación.

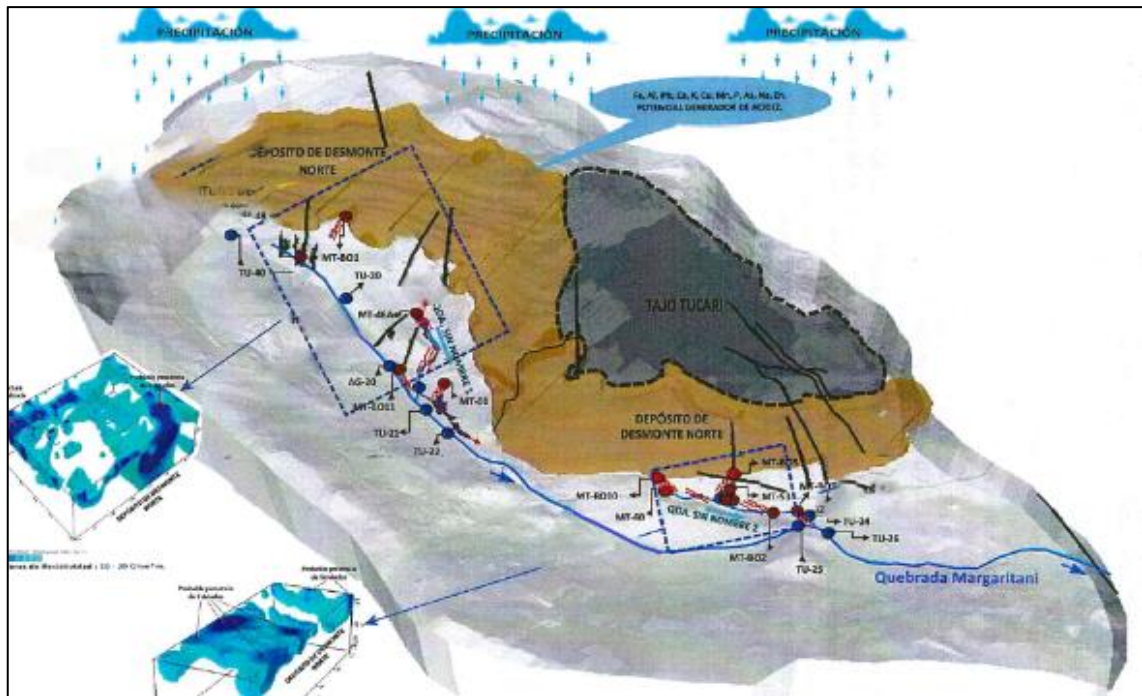


Figura 7: Interacción del componente minero depósito de desmonte norte con el componente ambiental agua.
FUENTE: OEFA

A. Depósito de desmonte norte (DDN)

La actividad de extracción de minerales ricos en metales, como la que se desarrolla en la unidad minera “Tucari”, genera residuos de roca con contenido metálico es cual se apila en depósitos los cuales suelen tener material sulfuroso el cual al estar expuesto al ambiente se oxida y en presencia de agua es generador de drenaje ácido de mina (DAM). La composición mineralógica del agua de mina y de las fuentes hídricas receptoras es variable.

A.1. Caracterización geoquímica del depósito de desmonte norte

Para conocer la caracterización geoquímica del DDN, se tomó nueve (09) muestras del material del DDN las cuales pasaron por un análisis de metales totales. En la Figura 8, se enseña un diagrama de cajas que refleja las concentraciones de Fe, Al, Pb, K, Ca, Cu, Mg, P, As, Na y Zn que fueron superiores con relación a otros metales analizados.

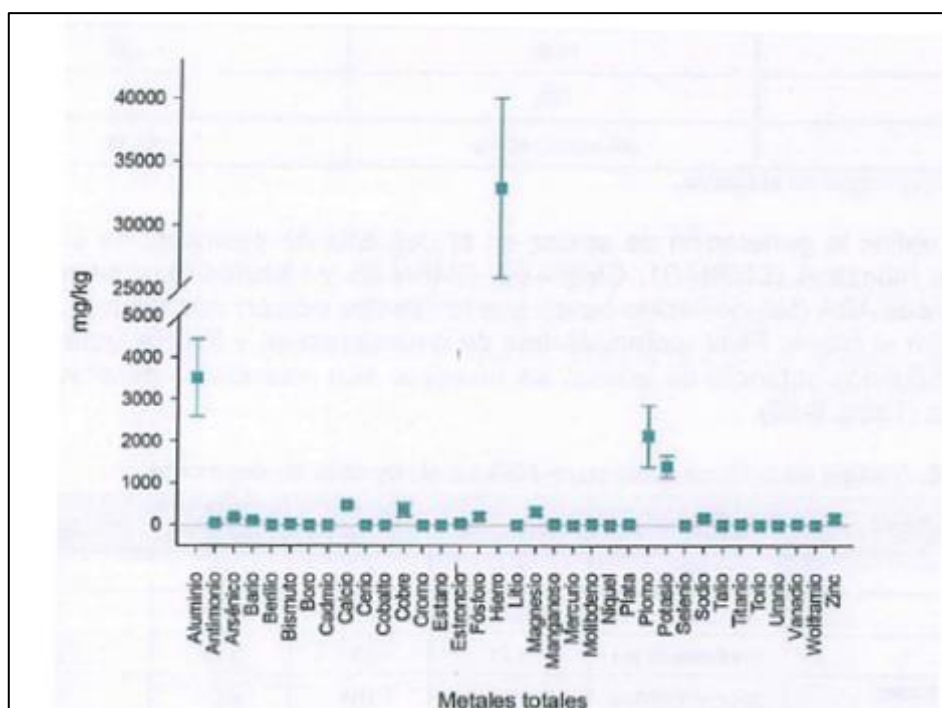


Figura 8: Resultados de metales totales en muestras del depósito de desmonte norte.
FUENTE: OEFA

Tabla 10: Prueba ABA en el DDN

Parámetros	Unidad	Depósito de desmonte			
		CMBN-01	CMBN-03	CMBN-06	CMBN-08
Azufre Total	(%)	5.7	5.2	6.2	5.3
pH pasta	Unid.	3.74	3.31	3.59	3.05
Potencial de acidez máximo (PA)	(Kg CaCO ₃ /Ton)	81.3	103	53.1	71.9
Potencial de neutralización neto (PNN)	(Kg CaCO ₃ /Ton)	-81.3	-103	-53.1	-71.9
Sulfato total	(%)	3.1	1.9	4.5	3
Sulfuro total	(%)	2.6	3.3	1.7	2.3
Conclusión de criterio 1 (PNN)^(a)		PGA	PGA	PGA	PGA
Conclusión de criterio 2 (ratio PN/PA)^(b)		PGA	PGA	PGA	PGA

(a) Criterio 1: para un PNN menor a cero, la muestra es generadora neta de ácido; sin embargo, para un PNN que varía entre -20 y +20, pueden ser generadores de ácido, este corresponde a un rango de incertidumbre.

(b) Criterio 2: Proporción entre PN y PA, para un PN/PA < 1:1 es probable que se genere acidez, mientras que para el rango de PN/PA entre 1:1 y 3:1 corresponde a zona de incertidumbre

FUENTE: OEFA

En cuanto a la determinación de generación de acidez del DDN, se extrajeron cuatro (04) muestras: CMBN-01, CMBN-03, CMBN-06 y CMBN-08 y se realizó la prueba de ABA (balance ácido-base). De acuerdo a los criterios PNN (potencial neto de neutralización) y PN/PA (potencial de neutralización/potencial de acidez) se obtuvo como resultados que las muestras del DDN son potenciales generadores de acidez.

A.2. Prospección geofísica

Para la realización de pruebas prospección geofísica, se utilizó la herramienta de tomografía geoelectrica sobre once (11) líneas de 500 m de largo y 190 m. de profundidad, las cuales se dispusieron en la zona del componente DDN. La representación gráfica en la Figura 9.

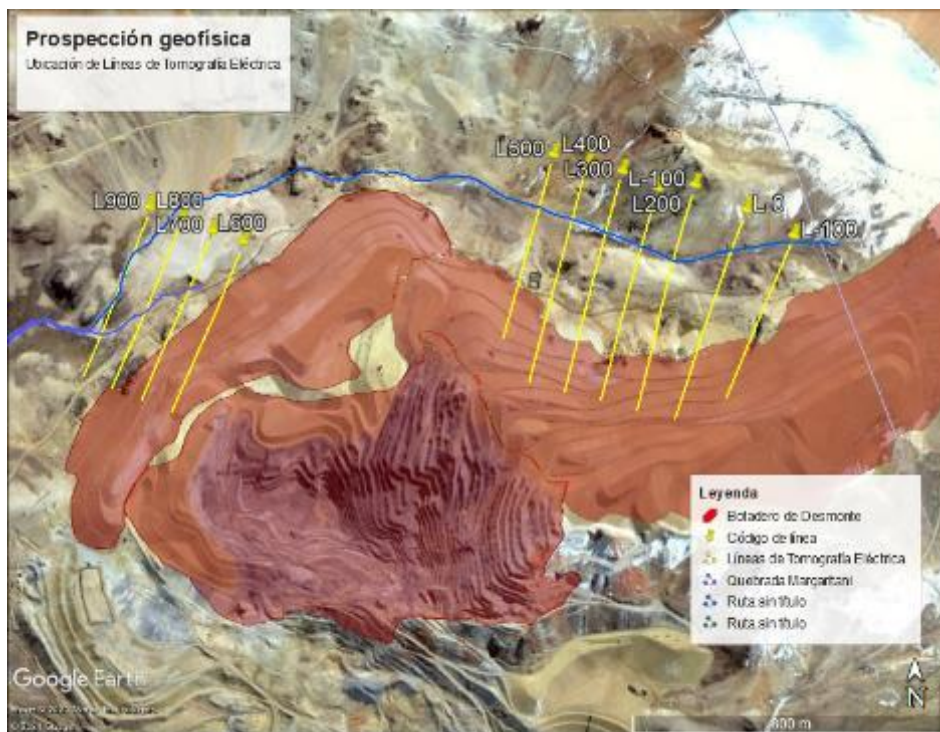


Figura 9: Líneas de tomografía geoelectrica

La metodología de tomografía eléctrica, consiste en introducir electrodos en la superficie a través de los cuales se trasmite corriente en los perfiles del subsuelo, la distancia entre la ubicación de electrodos dependerá del nivel de resolución y profundidad que se desee alcanzar. Cuando se disminuye la distancia la resolución se incrementa, pero se alcanza menor profundidad y viceversa.

Las lecturas de la prueba consisten en los valores de resistividad los cuales disminuyen cuando hay mayor conductividad de corriente en el terreno. Las líneas de tomografía geoelectrica se han dispuesto en dos (02) secciones: i) zona superior de la quebrada

Margaritani, lateral del DDN y quebrada S/N 1 (L-100, L-0, L100, L200, L300, L400 y L500) y ii) zona intermedia de la quebrada Margaritani, lateral del DDN y quebrada S/N 2 (L600, L700, L800 y L900).

Resultados zona superior de quebrada Margaritani

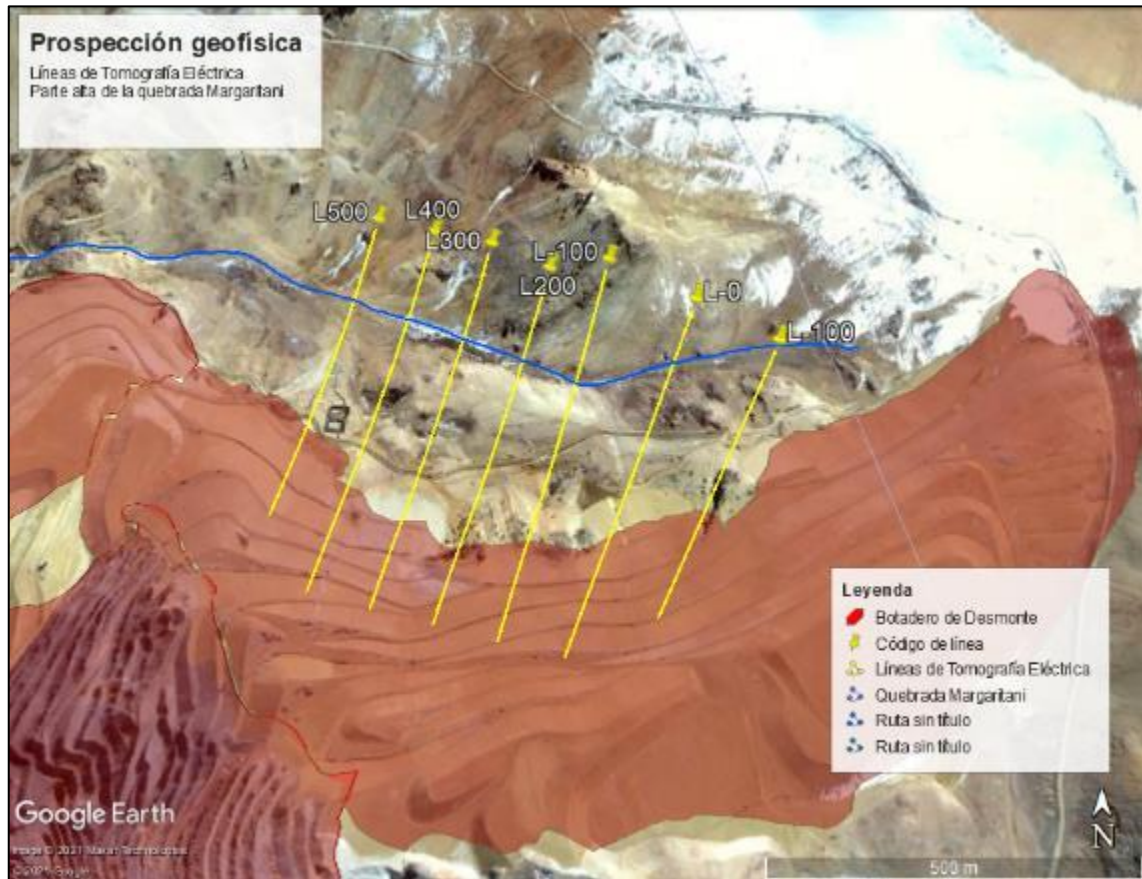


Figura 10: Líneas de tomografía geoelectrica – Zona superior quebrada Margaritani

En esta zona se han colocado siete (07) líneas de tomografía geoelectrica, con la finalidad de obtener representaciones gráficas en 3D, las cuales se presentan en la Figura 11 y Figura 12, en donde la capa superficial hasta 20 metros profundidad aproximadamente, presentó valores de resistividad entre 19 a 39 Ohm.m, estos valores son bajos y se representa por coloración celeste a azul (potencial existencia de lixiviados).

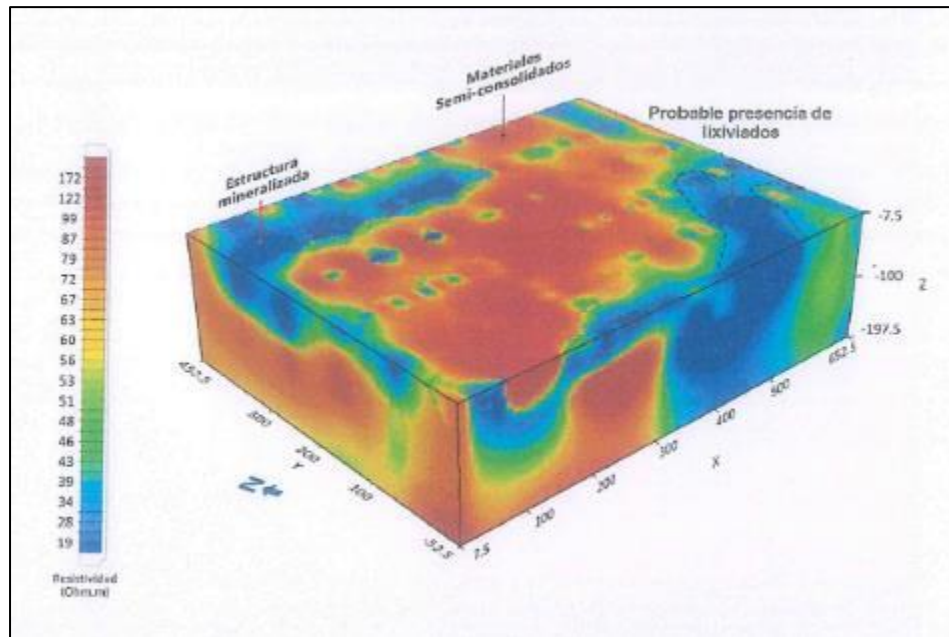


Figura 11: Rango de resistividad de 19 a 172 Ohm.m

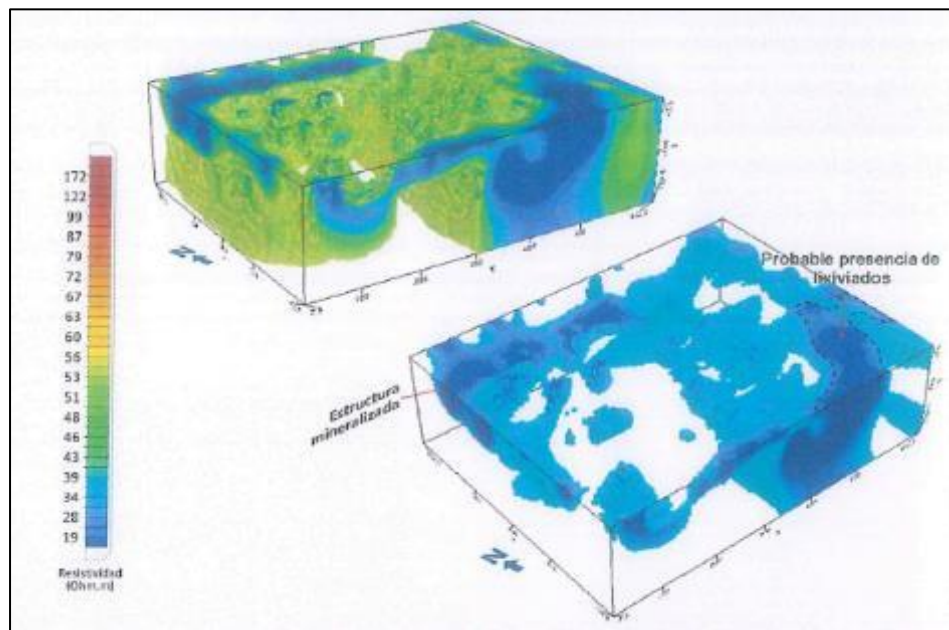


Figura 12: Rango de resistividad entre 19 a 39 Ohm.m

Resultados zona intermedia de quebrada Margaritani



Figura 13: Líneas de tomografía geoelectrica – Zona media quebrada Margaritani

En esta zona se han colocado cuatro (04) líneas de tomografía geoelectrica, con la finalidad de obtener representaciones gráficas en 3D, las cuales se presentan en la Figura 14 y Figura 15, en donde la capa superficial hasta 50 metros profundidad aproximadamente, presentó valores de resistividad entre 0 a 10 Ohm.m, estos valores son muy bajos y se representa por coloración azul oscuro, muy probable indicador de existencia de lixiviados.

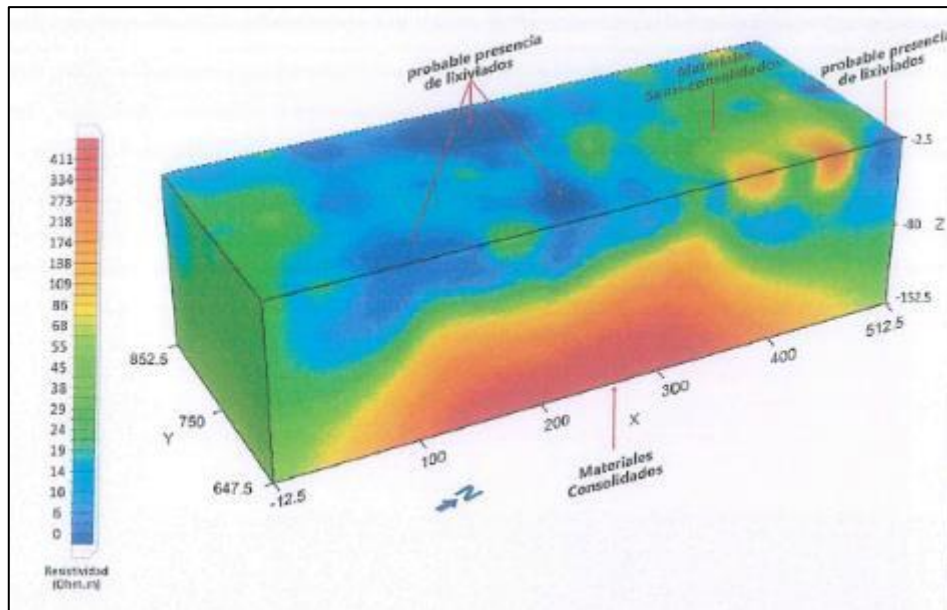


Figura 14: Rango de resistividad entre 0 a 411 Ohm.m

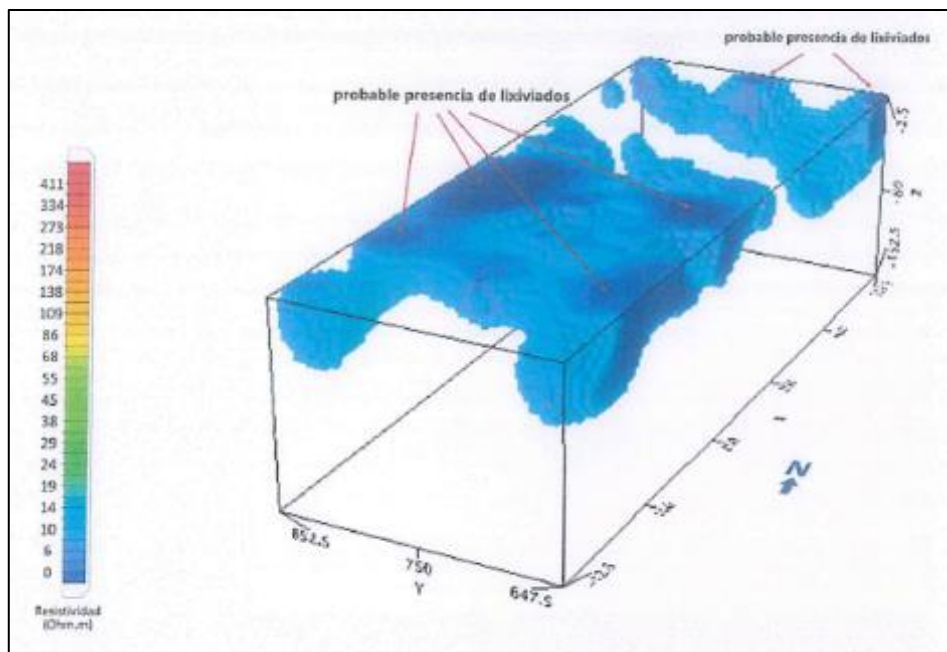


Figura 15: Rango de resistividad entre 0 a 10 Ohm.m

De acuerdo a los resultados de prospección geoquímica, se verifica que en el componente DDN, existe evidencia de presencia de lixiviados, debido a los valores bajos de resistividad que son característicos de estas zonas, asimismo, estas zonas marcadas se asocian en ubicación a los afloramientos observados en la supervisión que discurren hasta los tributarios de la quebrada Margaritani.

A.3. Clasificación Hidroquímica

El carácter ácido y concentración de metales pesados son una de las características más importantes para caracterizar el DAM, y los cuerpos receptores ya sea el agua o suelo. Para realizar una clasificación hidroquímica de las fuentes naturales de agua, efluentes mineros (afloramientos) y cuerpos receptores (quebrada Margaritani), se utilizó como herramienta el diagrama de Ficklin, este diagrama relaciona el contenido total de metales disueltos y los valores de pH de ambas muestras.

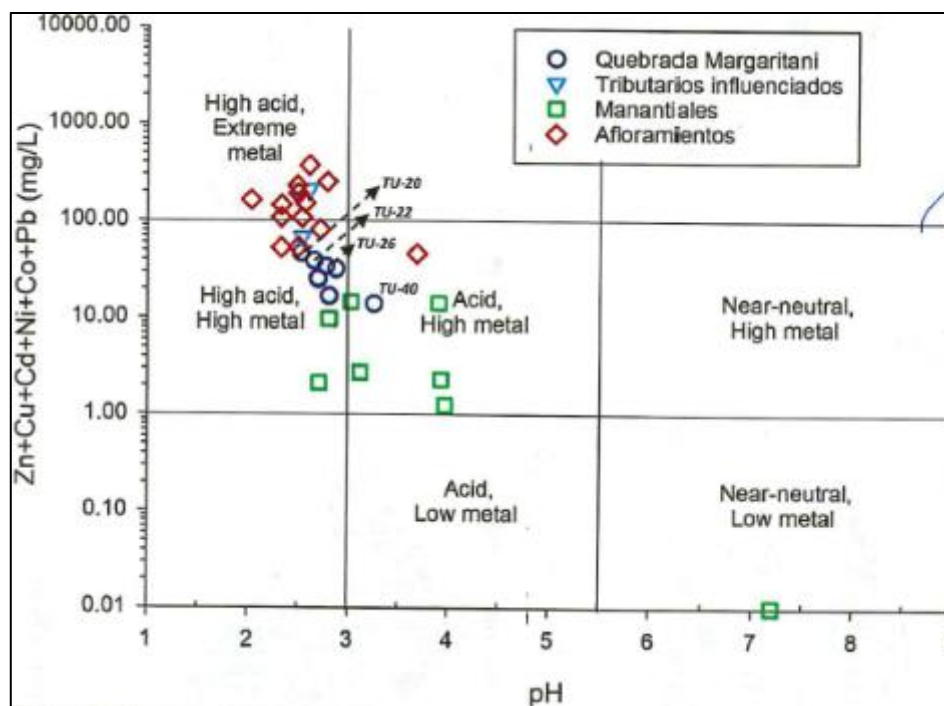


Figura 16: Diagrama de Ficklin: Clasificación Hidroquímica

Del análisis del diagrama de Ficklin, se concluye que tanto el efluente de mina (afloramientos del DDN) como el cuerpo receptor (tributarios de la quebrada Margaritani) coinciden en la caracterización de ser muy ácidos y con carga extrema de metales disueltos.

También se observa que el punto de muestreo TU-40, presenta menor carga de metales y pH menos ácido, en comparación con los otros puntos de muestreo evaluados, esto se explicaría ya que dicha muestra se ubica aguas arriba del componente DDN y recibe menos influencia del drenaje contaminado.

Adicionalmente, se realizó la correlación de las muestras de efluente minero (afloramientos o filtraciones) representado por los puntos MT-BO5 y MT-BO10, junto con la muestra de agua industrial residual representado por el punto WT-01, el resultado se aprecia en la Figura 17.

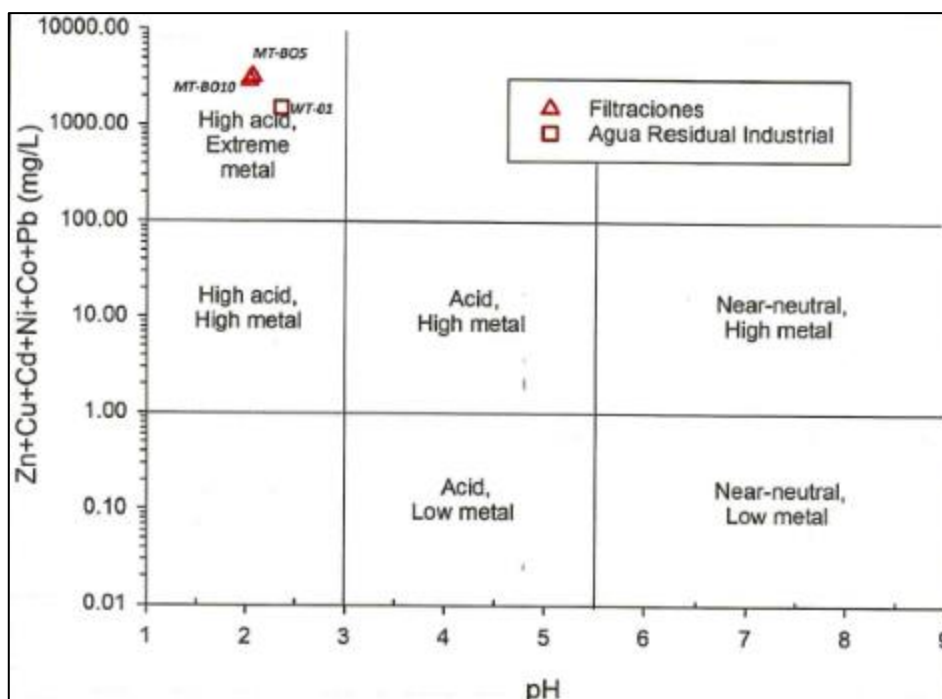


Figura 17: Diagrama de Ficklin: Filtraciones y agua residual

Conforme al diagrama obtenido, tanto las filtraciones del DDN, como la muestra del agua residual de mina, comparten la misma clasificación hidroquímica de alto nivel de acidez y carga extrema de contenido de metales, este resultado sugiere que los afloramientos y el agua de residual de mina provienen del mismo origen la actividad en el componente DDN.

B. Afloramientos

Para el análisis mineralógico de las filtraciones (efluentes) detectados al pie del DDN, se han considerado la toma de tres (03) muestras. Los puntos de monitoreo MT-BO5 y MT-BO10, son propios de las filtraciones encontradas, mientras que, el punto WT-01, corresponde a una muestra tomada de la poza de colección de agua ácidas del sistema de tratamiento con punto de control PS-02, esta última muestra ha sido considerada con el propósito de realizar las comparaciones de caracterización química entre el agua de las filtraciones con el agua de mina que si dirige a la poza.

Tabla 11: Ubicación de muestras de agua de afloramientos – Agosto 2017

Código del punto de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19		Altitud m.s.n.m.
		Norte	Este	
MT-BO5	Afloramiento ubicado en el depósito de desmonte, aproximadamente a 30 m. de la margen izquierda del canal de coronación.	8168178	372286	4879
MT-BO10	Afloramiento ubicado en el depósito de desmonte, aproximadamente a 20 m. de la margen izquierda del canal de coronación.	8168328	372454	4894
WT-01	Punto ubicado en la poza del sistema de tratamiento de aguas ácidas del punto de control PS-02.	8168499	371118	4840

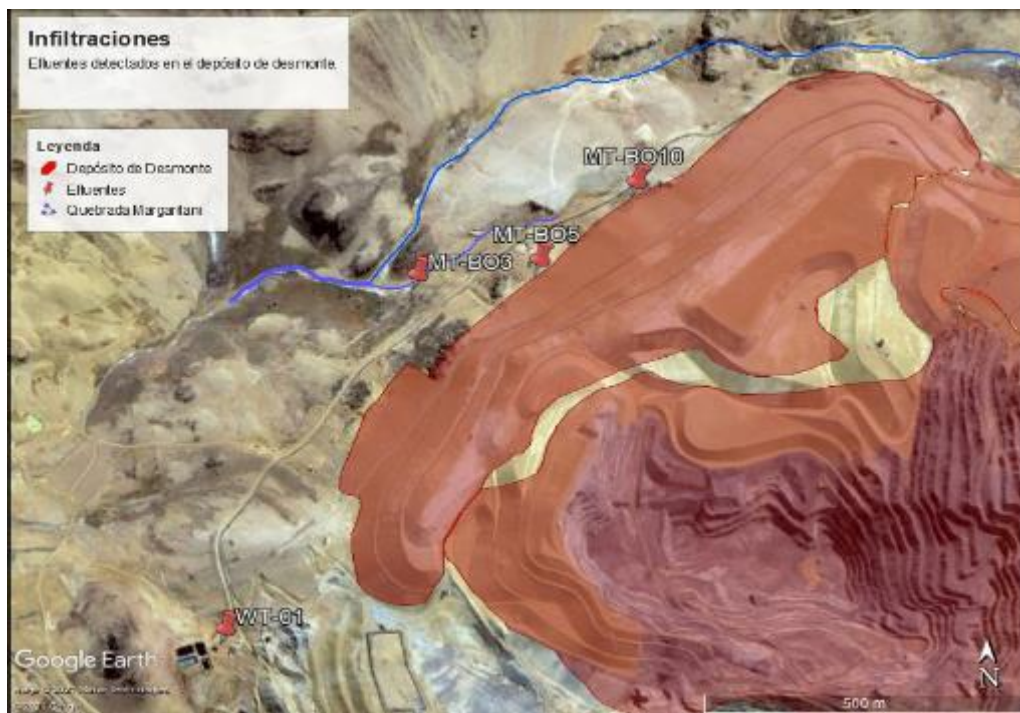


Figura 18: Mapa de ubicación de muestras de los afloramientos del DDN

Se comparó los resultados del informe de ensayo con los LMP para efluentes mineros, y se analizaron los parámetros de concentración de sulfatos, acidez y sólidos totales disueltos (STD), tal como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de laboratorio del muestreo en afloramientos – Agosto 2014

Parámetros	Unidad	Afloramientos		D.S. 010-2010-MINAM Límite en cualquier momento-
		MT-BO10	MT-BO5	
Campo				
pH	(Unid. pH)	2.03	2.06	6 - 9
Conductividad	(μ S/cm)	30100	26200	
Oxígeno Disuelto	mg/L	3.72	2.83	
Físico-químicos				
Acidez	mg/L CaCO ₃	>10000	>10000	
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	22680	20700	
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	156.4	25.6	50
Bicarbonatos	mg/L	<0.1	<0.1	
Carbonatos	mg/L	<0.1	<0.1	
Cloruros	mg/L	6.39	3.19	
Fluoruros	mg/L	0.06	0.05	
Sulfatos	mg/L	3.571	34950	
Sulfuros	mg/L	<0.002	<0.002	
Cromo Hexavalente	mg/L	<0.01	<0.01	0.1
Metales Totales				
Mercurio	mg/L	0.0002	0.0002	0.002
Aluminio	mg/L	17600	8704	
Antimonio	mg/L	<0.006	<0.006	
Arsénico	mg/L	75.43	177.3	0.1
Bario	mg/L	<0.001	<0.001	
Berilio	mg/L	0.2783	0.1378	
Bismuto	mg/L	<0.01	<0.01	
Boro	mg/L	2.569	2.880	
Cadmio	mg/L	4.406	5.650	0.05
Calcio	mg/L	173.2	232.8	
Cromo	mg/L	1.085	1.256	
Cobre	mg/L	1543	1864	0.5
Fósforo	mg/L	711.1	596.4	
Litio	mg/L	4.353	1.391	
Magnesio	mg/L	1000	580.3	
Manganeso	mg/L	412	183	
Molibdeno	mg/L	0.140	0.226	
Níquel	mg/L	32	25.34	
Potasio	mg/L	<0.02	<0.02	
Plata	mg/L	<0.002	<0.002	
Plomo	mg/L	<0.001	0.614	0.2
Sodio	mg/L	3.79	10.98	
Titanio	mg/L	0.819	0.306	
Zinc	mg/L	1428	1437	1.5
Hierro Disuelto	mg/L	23560	23180	2

Los resultados de los principales parámetros que excedieron ampliamente los LMP se muestran en las siguientes figuras:

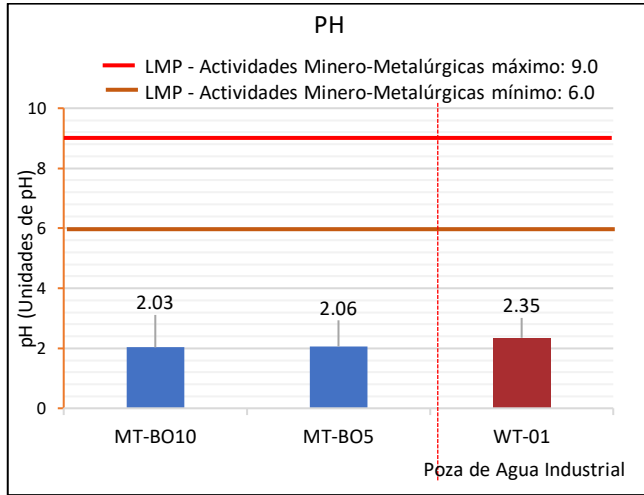


Figura 19: Valor de PH

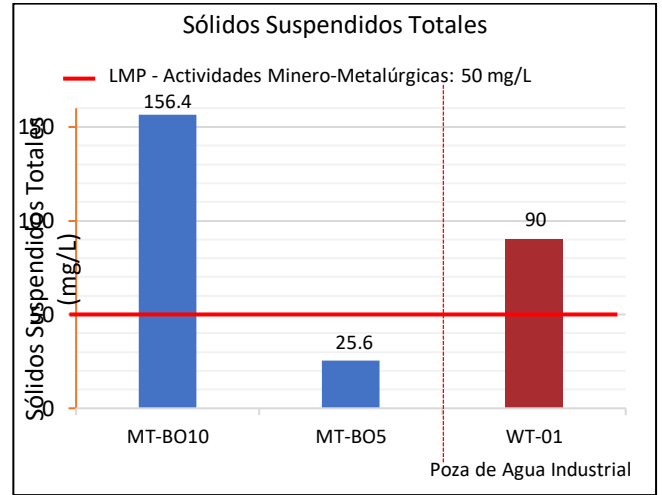


Figura 20: Concentración de STS

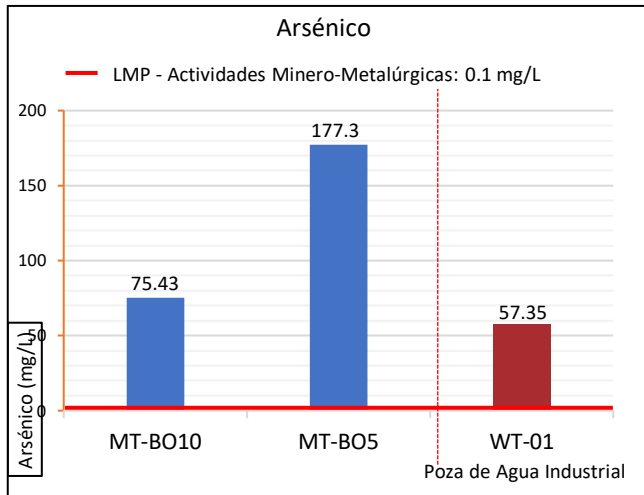


Figura 21: Concentración de arsénico

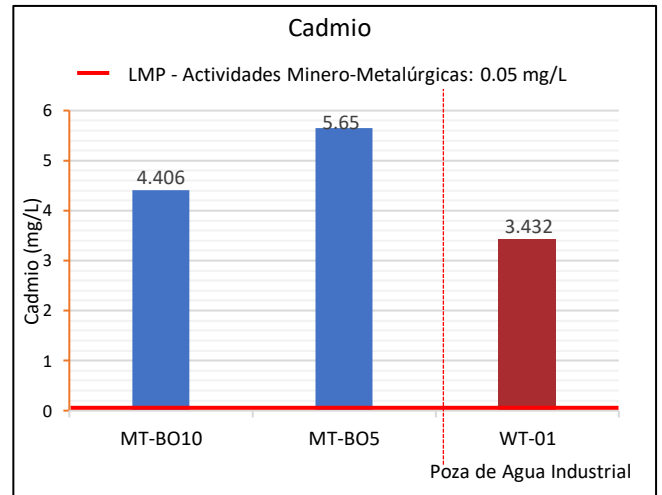


Figura 22: Concentración de cadmio

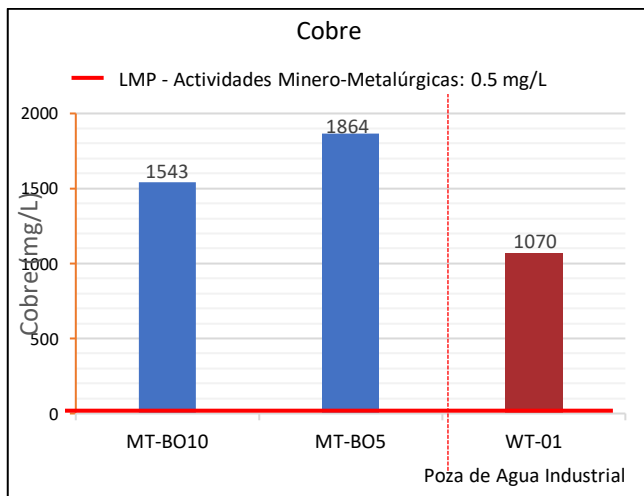


Figura 23: Concentración de cobre

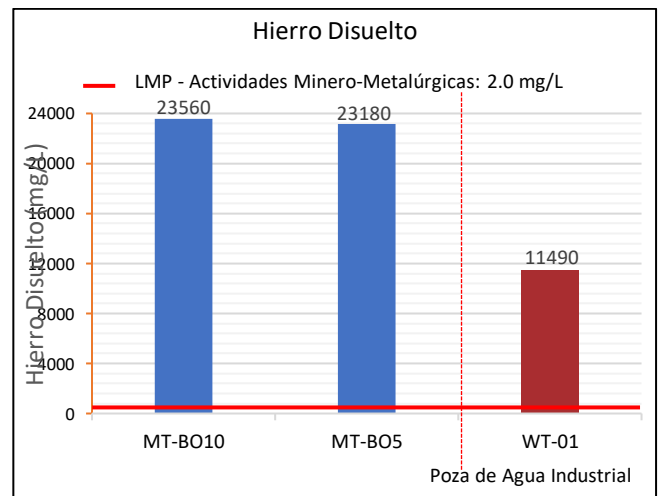


Figura 24: Concentración de hierro disuelto

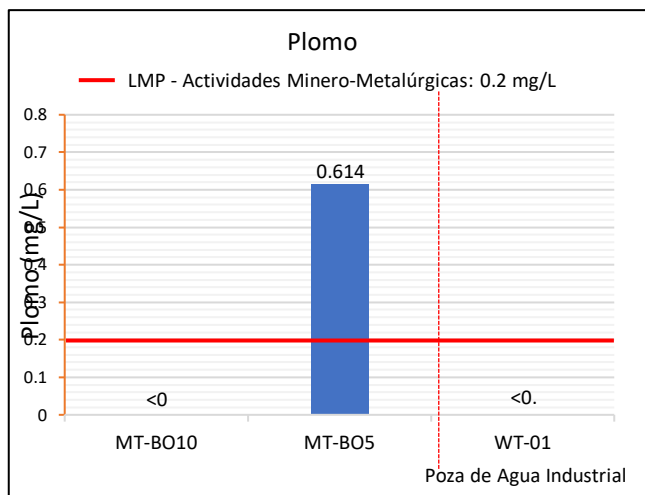


Figura 25: Concentración de plomo

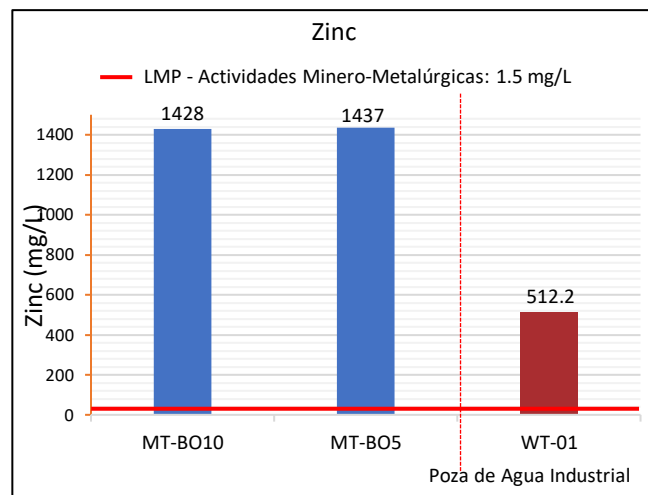


Figura 26: Concentración de Zinc

Por lo tanto, se verifica que los afloramientos detectados durante la supervisión ambiental, presentan pH ácido y una alta concentración de metales pesados los cuales al descargar sobre los tributarios de la quebrada Margaritani, afectan su calidad.

4.3.3. Análisis de impactos

Para realizar la evaluación de impactos, se tomaron muestras de agua de los afloramientos detectados y que descargan en los tributarios (quebrada S/N 1 y quebrada S/N 2) de la quebrada Margaritani.

A. Cuerpos de agua superficial (quebrada Margaritani y tributarios)

Tabla 13: Puntos de muestreo de calidad de la quebrada Margaritani – Agosto 2017

Código del punto de monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19		Altitud m.s.n.m.
		Norte	Este	
TU-40	Zona I: Aguas arriba de la quebrada Margaritani	8168401	374087	5072
TU-20		8168359	373663	4986
AG-20	Zona II: Quebrada Margaritani	8168480	373373	4950
AG-21		8168558	373164	4934
TU-21		8168496	373247	4943
TU-22		8168594	373049	4940
TU-24		8168286	372269	4840
TU-24A	Zona III: Aguas abajo, influenciados por los afloramientos	8168156	372034	4854
TU-25		8168197	373032	4847
TU-26		8168163	371946	4839
TU-27		8167538	371007	4794

Se realizó el muestreo de calidad de agua en once (11) puntos distribuidos a lo largo de la quebrada Margaritani:

En la Figura 27, se han dividido a los puntos de monitoreo en tres (03) zonas de la quebrada Margaritani: aguas arriba del DDN (Zona I), zona media (Zona II) y aguas abajo del DDN (Zona III).

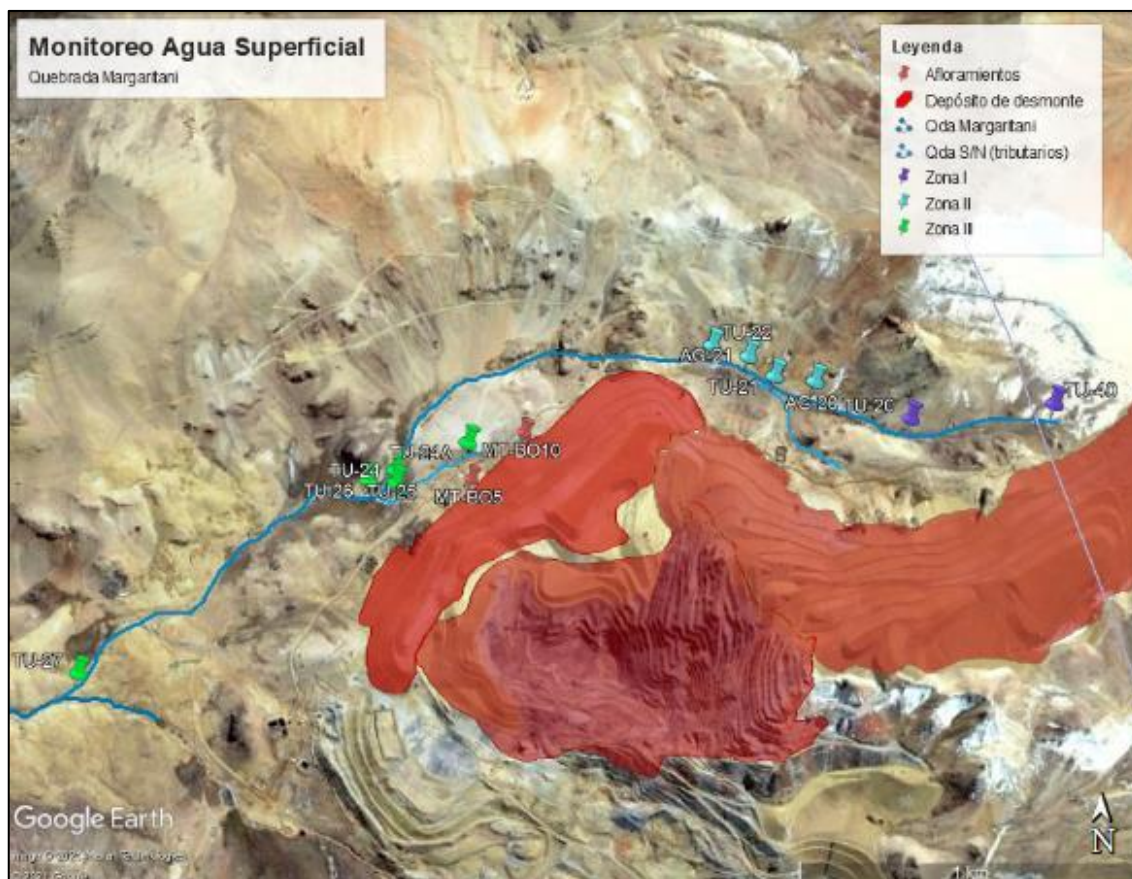


Figura 27: Distribución de puntos de monitoreo de la quebrada Margaritani – Agosto 2017

Los resultados del informe de ensayo fueron comparados con los ECA para agua y se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14: Resultados de laboratorio muestreo quebrada Margaritani – Agosto 2017

Parámetros	Unidad	AGUA SUPERFICIAL										ECA para Agua D.S. 004-2017-MINAM		
		Zona I		Zona II				Zona III				D1	D2	
		TU-40	TU-20	AG-20	AG-21	TU-22	TU-21	TU-26	TU-27	TU-25	TU-24A			TU-24
Campo														
pH	(Unid. pH)	3.26	2.99	2.81	2.7	2.53	2.54	2.66	2.78	2.7	2.48	2.61	6.5-8.5	6.5-8.4
Conductividad	(µS/cm)	2730	3300	2730	3150	4040	4260	5320	3280	3890	7700	6490	2500	5000
Oxígeno Disuelto	mg/L	4.56	6.59	5.97	5.60	6.13	6.32	5.32	5.76	6.21	4.07	8.49	≥ 4	≥ 5
Acidez	mg/L CaCO ₃		3199	2199	2823	4365	4582	3559	3069	3328	-	7151		
STD	mg/L	2042	2699	1834	2090	2764	2889	2685	2140	2678	4950	4935		
STS	mg/L	5	<3	<3	20.2	15.2	92.4	108.4	24.8	<3	5.4	48.4		
Bicarbonatos	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Carbonatos	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Cloruros	mg/L	6.02	4.41	7.92	7.92	5.01	6.22	2.99	13.19	18.79	3.39	3.99		
Fluoruros	mg/L	0.12	0.09	0.09	0.34	0.098	0.14	0.09	0.07	0.12	0.13	0.46		
Sulfatos	mg/L	1809.6	3380.5	1989	2438	3921	3765	3225	2605	3130	9.389	6.327	1000	1000
Sulfuros	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002		
Metales Totales														
Mercurio	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001		
Aluminio	mg/L	320.8	524.5	328	413.8	594.3	572.7	408.2	343.9	369.1	1666	958.1	5	5
Antimonio	mg/L	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006		
Arsénico	mg/L	0.043	0.201	<	.007	<0.007	2.059	2.927	3.437	0.110	35.94	13.17	0.1	0.2
Bario	mg/L	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.7	
Berilio	mg/L	0.0148	0.0159	0.011	0.0138	0.0184	0.0278	0.0142	0.0120	0.011	0.0317	0.0473		
Bismuto	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01		
Boro	mg/L	0.058	0.076	0.045	0.065	0.101	0.118	<0.008	<0.008	0.094	0.406	0.240	1	5
Cadmio	mg/L	2.039	0.430	0.149	0.0957	0.170	0.191	0.697	0.428	0.346	2.504	2.663	0.01	0.05
Calcio	mg/L	184.7	135.7	120.1	130.3	124.4	159.5	91.29	89.24	83.09	46.83	101.9		
Cobalto	mg/L	1.735	1.968	1.001	0.9583	1.651	3.122	1.673	1.415	1.911	5.665	1.649	0.05	1
Cromo	mg/L	<0.001	0.064	0.032	0.049	0.0954	0.112	0.079	0.068	0.072	5.665	3.122	0.1	1
Cobre	mg/L	1.257	16.95	8.737	17.84	32.64	47.99	18.29	15.79	11.54	0.228	0.175	0.2	
Hierro	mg/L	54.25	218.9	154.3	282.5	432.2	645.7	443.7	330.5	349.6	3347	1336	0.5	
Fósforo	mg/L	0.37	2.99	1.38	1.99	5.88	6.32	6.69	4.70	3.55	38.3	23.59		
Litio	mg/L	0.012	0.029	0.029	0.040	0.063	0.055	0.059	0.049	0.048	0.143	0.111	2.5	2.5
Magnesio	mg/L	20.1	23.3	19.13	27.03	36.7	45.48	25.59	23.06	23.1	<0.003	<0.003		250
Manganeso	mg/L	27.8	24.64	19.72	20.72	25.43	28.66	14.7	13.21	12.8	25.78	32.46	0.2	0.2
Molibdeno	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002		
Níquel	mg/L	1.357	1.542	0.761	0.729	1.311	1.566	1.153	0.9947	1.143	3.733	2.139	0.2	1
Potasio	mg/L	4.59	0.43	1.54	1.32	1.08	0.75	2.58	1.12	2.43	<0.02	1.93		
Plata	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002		
Plomo	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.05
Selenio	mg/L	0.014	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.02	0.05
Sodio	mg/L	20.56	15.37	14.99	19.89	19.21	14.31	9.637	9.512	15.14	3	5.97		
Titanio	mg/L	<0.001	<0.001	0.008	<0.001	<0.001	<0.001	0.056	0.018	0.017	<0.001	0.043		
Zinc	mg/L	9.399	14.06	7.433	7.876	17.46	18.90	19.38	15.98	12.06	140.7	100.6	2	24

FUENTE: OEFA

A continuación, se presentan los gráficos con los resultados de los parámetros: pH, conductividad eléctrica, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, sólidos suspendidos totales, hierro, manganeso, plomo y zinc, los cuales excedieron ampliamente los valores del ECA para agua categoría: Riego de vegetales y bebida de animales

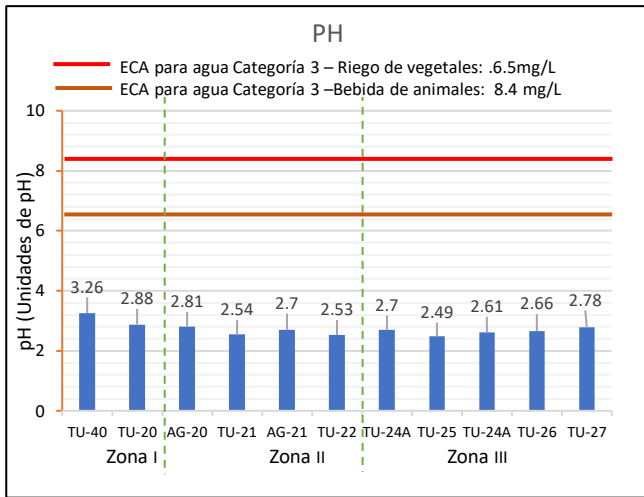


Figura 28: Valor de pH

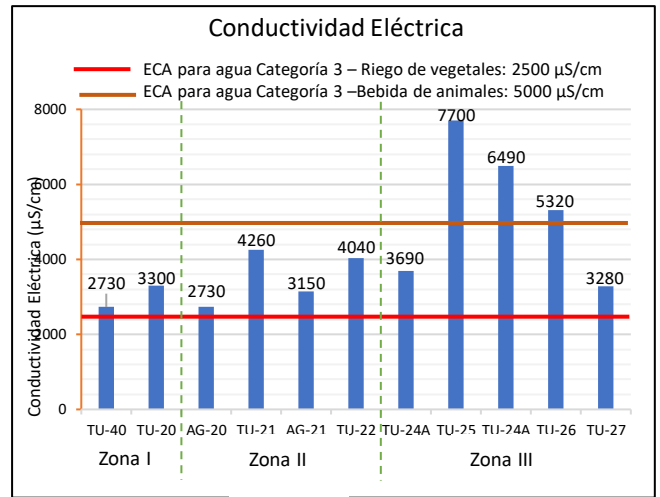


Figura 29: Concentración de Conductividad eléctrica

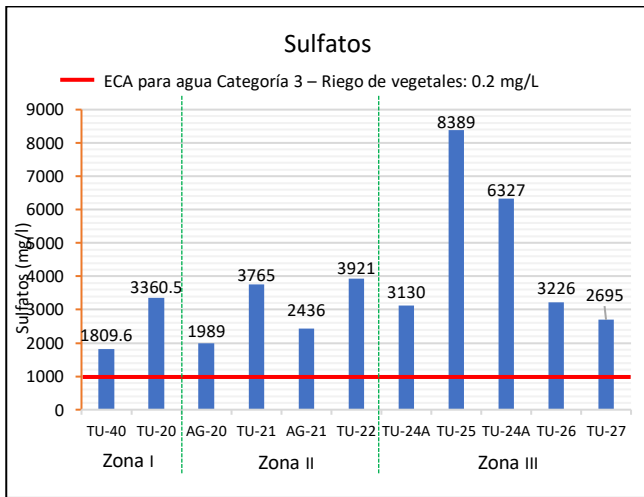


Figura 30: Concentración de Sulfatos

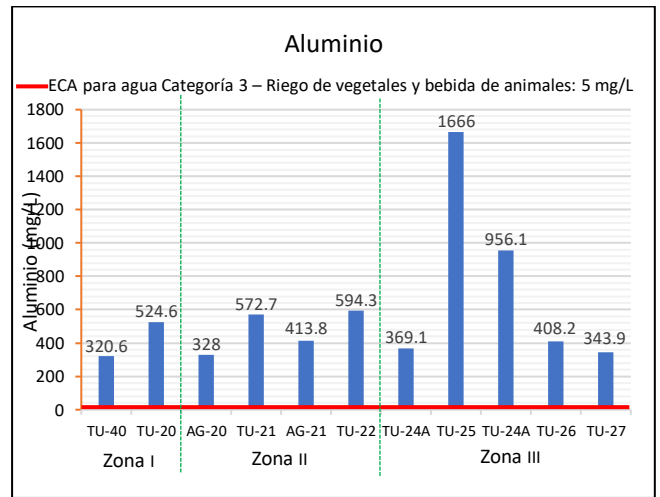


Figura 31: Concentración de Aluminio

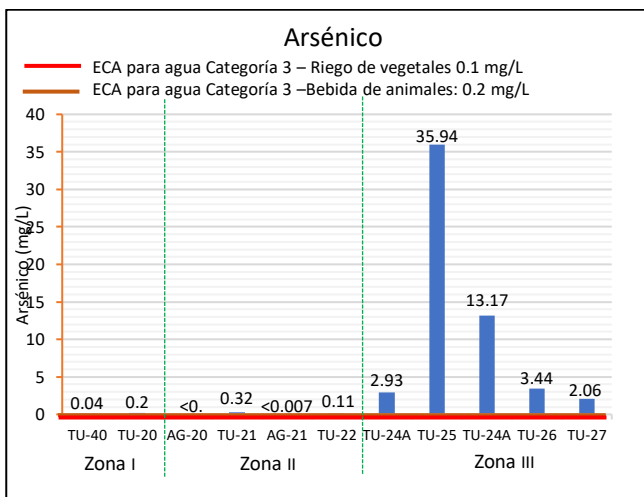


Figura 32: Concentración de arsénico

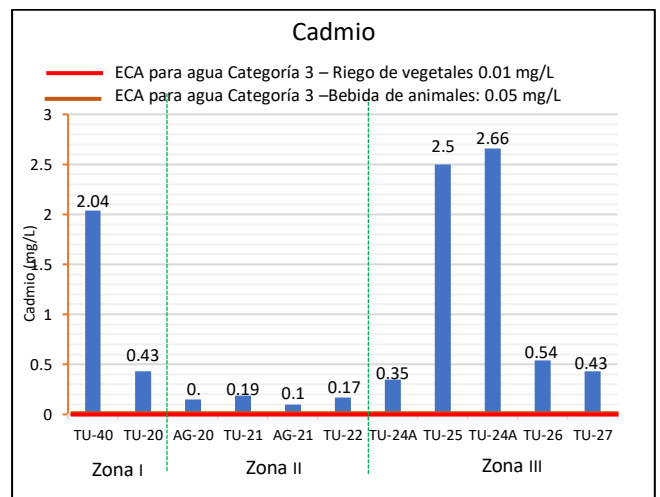


Figura 33: Concentración del cadmio

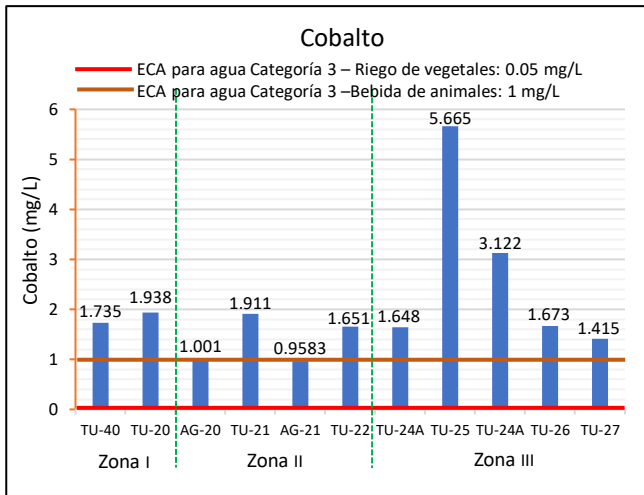


Figura 34: Concentración de cobalto

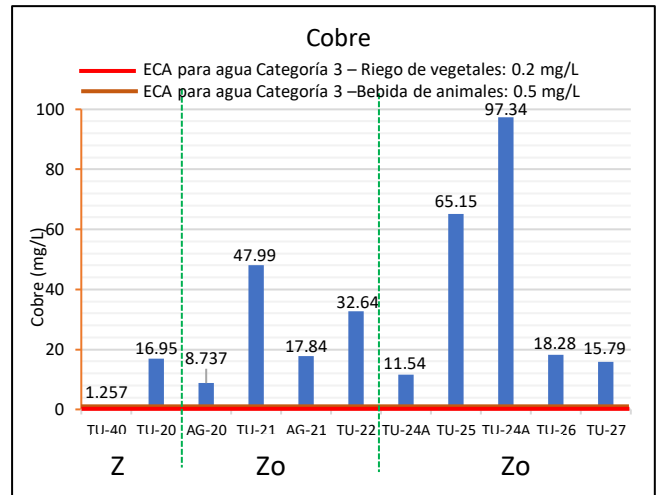


Figura 35: Concentración de cobre

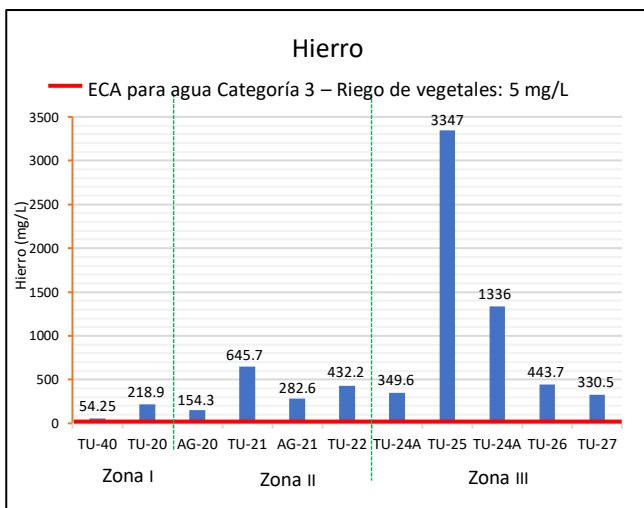


Figura 36: Concentración de Hierro

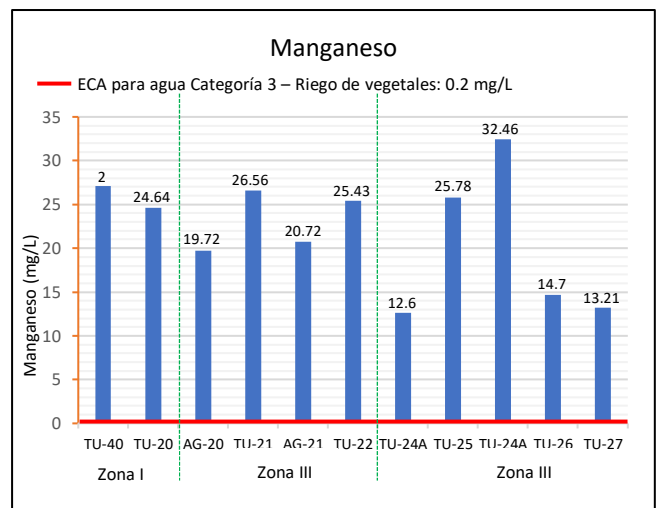


Figura 37: Concentración de Manganeso

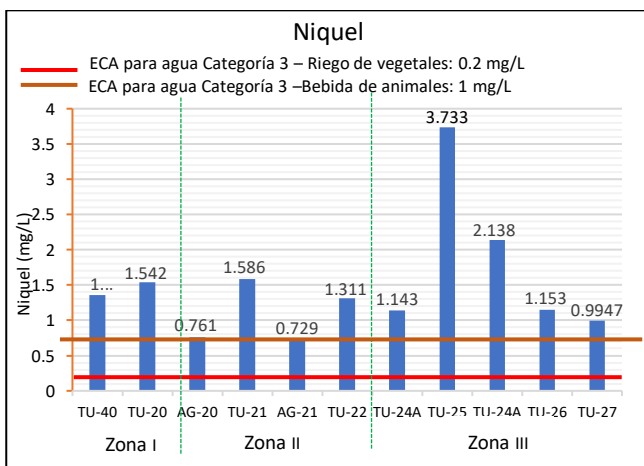


Figura 38: Concentración de Níquel

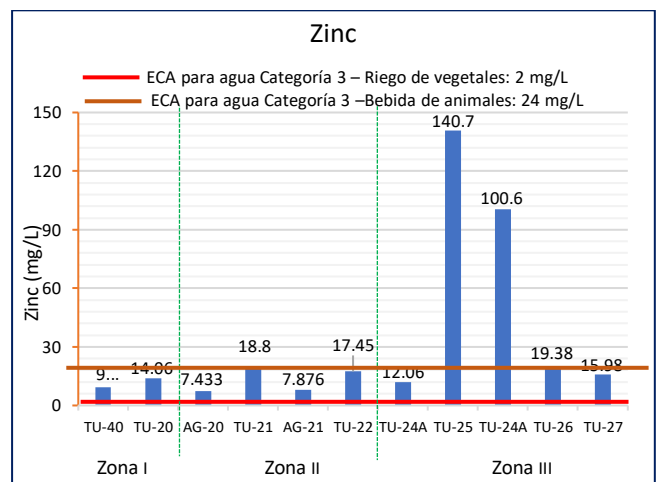


Figura 39: Concentración de Zinc

B. Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS)

Para poder caracterizar el estado de la quebrada Margaritani, se utilizó la metodología del ICARHS, cabe mencionar que, el uso de la metodología es referencial ya que se requiere de data histórica (4 muestreos por estación) para poder aplicar la herramienta de manera correcta.

La fórmula aplicada para hacer el cálculo se presenta en la Figura

$$CCMEWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right)$$

Figura 40: Formula Base del ICARHS. ANA, 2020

Donde:

F1: Es el alcance que indica el número de parámetros que incumplen los ECA para agua, frente al total de parámetros evaluados.

F2: Es la frecuencia, que contabiliza el total de valores que superaron el ECA respecto del parámetro evaluado, para este factor es deseable contar con resultados de por lo menos 4 muestreos.

F3: La amplitud, que mide la desviación de los datos, se obtiene de la sumatoria de todos los excesos de los datos analizados sobre el número total de datos trabajados.

El ICARHS maneja una escala que va del 0 al 100, el cual se divide en 5 rangos que califican el estado de la calidad del agua, las cinco (05) categorías son: Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente. En la Tabla 15 se presenta el ICARHS.

Tabla 15: Valoración del ICARHS

Valor ICARHS	Calificación ICARHS	Color (RGB)	Interpretación
95 - 100	Excelente	0 112 255	La calidad del agua está protegida, ausencia de amenaza o daño, su condición está muy cercana a los niveles naturales o deseables.
80 - 94	Bueno	0 197 255	La calidad del agua se aleja un poco de la calidad natural agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.
65 - 79	Regular	85 255 0	La calidad de agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento
45 - 64	Malo	255 170 0	La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento
0 - 44	Pésimo	255 0 0	La calidad del agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan tratamiento

FUENTE: ANA 2020

En la Figura 41, se realizó una representación georeferenciada de la calificación obtenida para los once (11) puntos muestreados distribuidos a lo largo de la quebrada Margaritani.

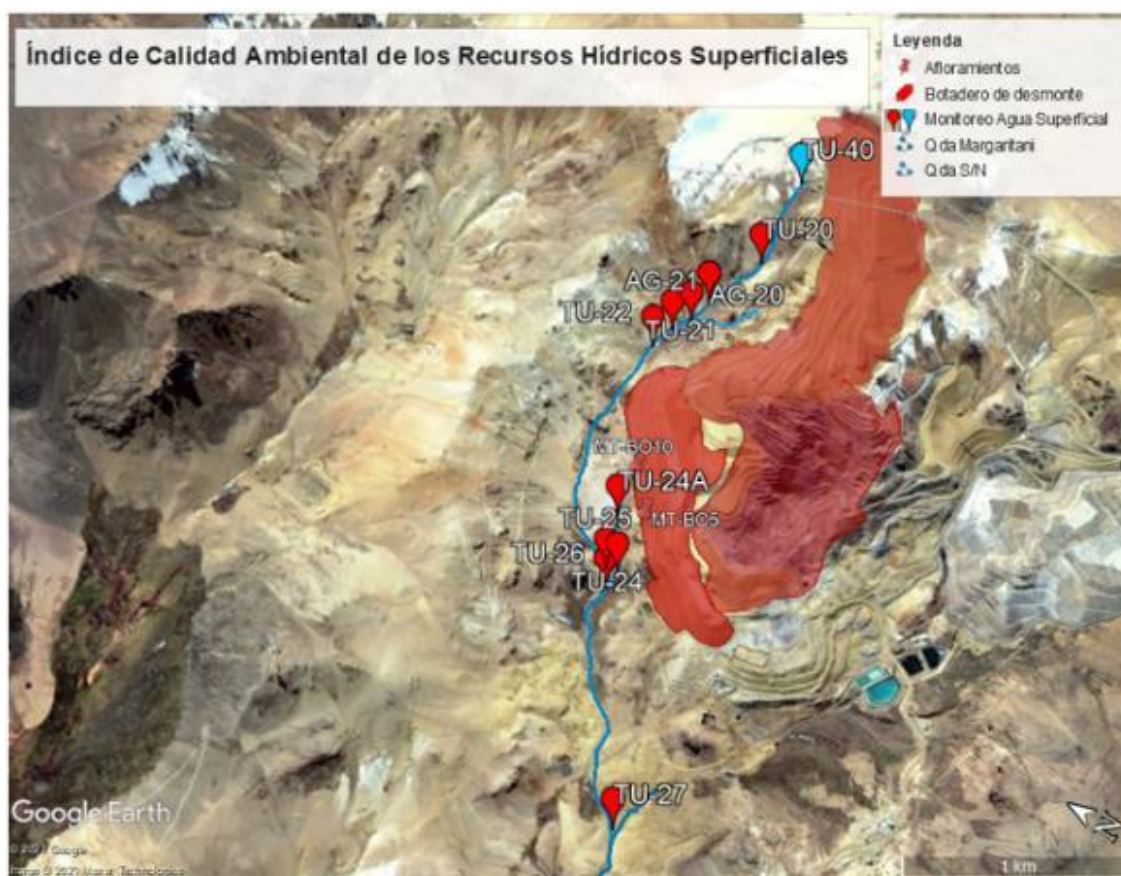


Figura 41: Clasificación ICARHS de los puntos de muestreo de la quebrada Margaritani

De acuerdo a la metodología utilizada, donde se ha valorado el estado de la calidad del agua en una escala de 0 a 100, los resultados indicaron un único punto de muestreo el TU-40

obtuvo la calificación de Bueno (85.88), esto significa que aunque no mantiene la calidad excelente de un cuerpo de agua natural, presenta condiciones de poca afectación. Como se observa en la figura, este punto se encuentra aguas arriba del componente DDN, es decir que no recibe influencia de sus lixiviados.

Con respecto a los otros diez (10) puntos muestreados, todos obtuvieron una calificación de Pésimo, lo cual refleja una afectación real al cuerpo hídrico y requiere de tratamiento previo a su uso. La peor calificación fue de 42.28 y se encontró en el punto TU-24A, este punto es el que se ubica más próximo a los afloramientos contaminados.

C. Impactos asociados entre los metales excedidos sobre la flora y fauna

De acuerdo a la evaluación biológica en el área de estudio, se registró la especie “*Perezia coerulescens Wed*” la cual esta categorizada como “vulnerable” (VU) conforme a la norma D.S. N° 003-2006-AG.

La raíz y rizomas de la especie en mención, tiene son usadas en la práctica de medicina tradicional, de ahí su inclusión en la lista de “Especies Amenazadas de Flora Silvestre”.

En la Tabla 16 se describen los efectos adversos de metales pesados en la flora y fauna.

Tabla 16: Efectos adversos de metales pesados en la flora y fauna

ELEMENTO	FLORA	FAUNA
Arsénico	Los síntomas de toxicidad del arsénico se describen de variadas formas, como hojas marchitas, coloración violeta, y decoloración de las raíces. Sin embargo, el síntoma más común es la reducción del crecimiento.	Los principales signos de la intoxicación por arsénico son la reducción drástica en la producción de leche, diarrea, deshidratación, disnea, cianosis, aborto y efectos nerviosos centrales. Entre los signos crónicos, los más frecuentemente observados son hiperqueratosis de la piel, rigidez e inflamación de las articulaciones, y ceguera con opacidad seria de la córnea.
Cadmio	Como síntoma de toxicidad, el retardo del crecimiento, daño radicular, bronceamiento de las hojas en sus márgenes, clorosis y enrojecimiento de venas y peciolo, enrollamiento de hojas y pardeamiento de raíces. Las plantas son un excelente reservorio para el cadmio, clave en su transporte hasta animales y hombres.	Mediante inhalación, las lesiones agudas del cadmio se limitan a los pulmones, iniciándose con edema pulmonar. Por ingestión, ocasiona una acción inflamatoria sobre las mucosas del estómago y el intestino. Como efectos crónicos, se tienen: daño en el riñón, anemia, hipertensión, daño en el hígado y efectos en los huesos.
Cobre	El exceso de iones Cu^{2+} y Cu^{+} puede originar daño a los tejidos y alteración de la permeabilidad de la membrana de las plantas. Para la mayoría de las especies, altas cantidades de Cu en el medio nutritivo son tóxicos para el crecimiento. La inhibición del crecimiento de la raíz es una de las respuestas más rápidas a niveles tóxicos de Cobre	La intoxicación crónica por cobre es originada por la prolongada ingestión de niveles subtóxicos del metal en los alimentos o el agua de bebida. Durante la primera fase, el Cu se acumula progresivamente en el organismo, especialmente en hígado, cerebro y riñón. Esta fase termina cuando el Cu tisular se vuelca a la corriente circulatoria, lo que provoca uno o más episodios hemolíticos.
zinc	La toxicidad del zinc se aprecia por la clorosis, un color amarillamiento del tejido foliar. Además, la necrosis marginal y reducción del crecimiento de la raíz, niveles altos de zinc disminuyen la absorción de fósforo y hierro.	El Zinc es de baja toxicidad para aves y mamíferos. Las ingestas necesarias para producir efectos perjudiciales son tan grandes que existe un amplio margen de seguridad con este elemento.

FUENTE: OEFA

Consecuentemente, existe un daño potencial al ambiente, específicamente a la flora y fauna que se desarrollan circundantes al área de la unidad minera, toda vez que, los parámetros que exceden los valores del ECA y LMP, son altamente tóxicos y están asociados a dar origen enfermedades.

Como medida para el cese del impacto negativo a la quebrada Margaritani, se dictó a la empresa captar y tratar el agua de los afloramientos que se ubican al pie del DDN, hasta que cumplan con los ECA para agua con el propósito de que su descarga no contamine la

quebrada Margaritani, también se ordenó la remediación del suelo y sedimentos que hayan tenido contacto con el efluente.

4.4. DISCUSIONES

4.4.1. Descripción de la línea base

A. Calidad de agua superficial

Conforme a los resultados presentados en la Tabla 5, el parámetro de campo pH es de carácter ácido para todas las muestras evaluadas. Con respecto a los metales totales, las concentraciones de aluminio, arsénico, cadmio, cobalto, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc superaron los ECA para agua categoría 3, bebida de animales.

Cabe mencionar que, para la fecha de muestreo (agosto 2012) la unidad minera “Tucari” ya venía realizando actividades en el DDN el cual tuvo una ampliación posteriormente, entonces la quebrada Margaritani ya podría haber estado siendo afectada por contaminación. Para obtener mejores conclusiones acerca del grado de afectación a la quebrada debió de haberse establecido un punto de monitoreo aguas arriba del componente DDN para evaluar la variación de calidad de la quebrada antes y después de su influencia.

B. Descripción de la línea base biológica

Acerca de los componentes biológicos flora y fauna que se desarrolla en el área de influencia del depósito de desmonte norte y quebrada Margaritani, la línea base señala que pertenece a la formación vegetal del tipo Herbazal de Tundra (Ht), la cual se caracteriza por presentar vegetación escasa; asimismo, se registraron 154 individuos de las especies de flora de la familia Asteraceae y de la familia Poaceae la especie *Festuca dolichophylla* (paja brava).

En cuanto a la fauna solo se evidenciaron tres (03) individuos de aves de las especies *Diuca speculifera* y *Cinclodes albiventris*, acerca de los mamíferos se registró una abundancia de dos (02) individuos de la especie *Lagidium peruvianum* (vizcacha).

Se concluye que tanto la abundancia como diversidad de especies presentes en el área es baja; sin embargo, podría seguir disminuyendo por efectos de la contaminación.

4.4.2. Componentes de la contaminación de la calidad del agua de la quebrada Margaritani

A. Prospección Geofísica

Parte alta de la quebrada Margaritani

Se realizó la tomografía geoelectrica sobre el primer sector en las líneas L-100, L0, L100, L200, L300, L400 y L500, éstas se distribuyen en la zona alta de la quebrada. En la Figura 42, se presentan los las variaciones en los resultados de resistividad, con valores mínimos entre 13 a 39 Ohm.m.

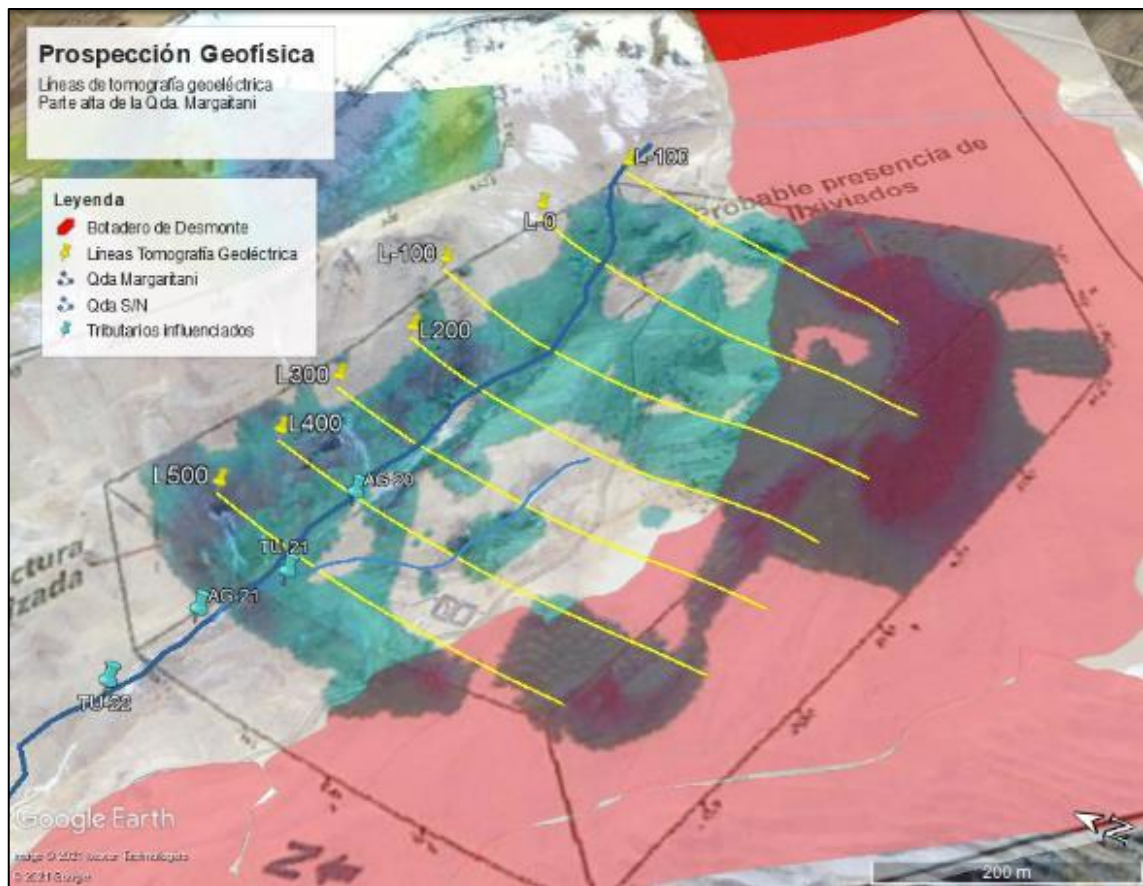


Figura 42: Superposición de la tomografía eléctrica sobre la parte alta de la quebrada Margaritani

De la figura precedente se aprecian dos zonas con los valores con menor resistividad (indica presencia de lixiviados), la primera zona ubicada bajo la parte oeste del componente depósito de desmonte norte, que va desde la superficie del suelo y alcanza una profundidad de 20 cm aproximadamente, y la segunda zona se observa como un desplazamiento aguas debajo de la primera zona, asimismo, se ubica en el área de los tributarios que son influenciados por el DDN (quebrada S/N 1).

Parte media de la quebrada Margaritani

Se realizó la tomografía geoelectrica sobre el sector de líneas L600, L700, L800 y L900 ubicadas en la zona media de la quebrada. En la Figura 43, se muestra los resultados y se aprecia la variación de resistividades, detectándose valores entre 0 a 10 Ohm.m

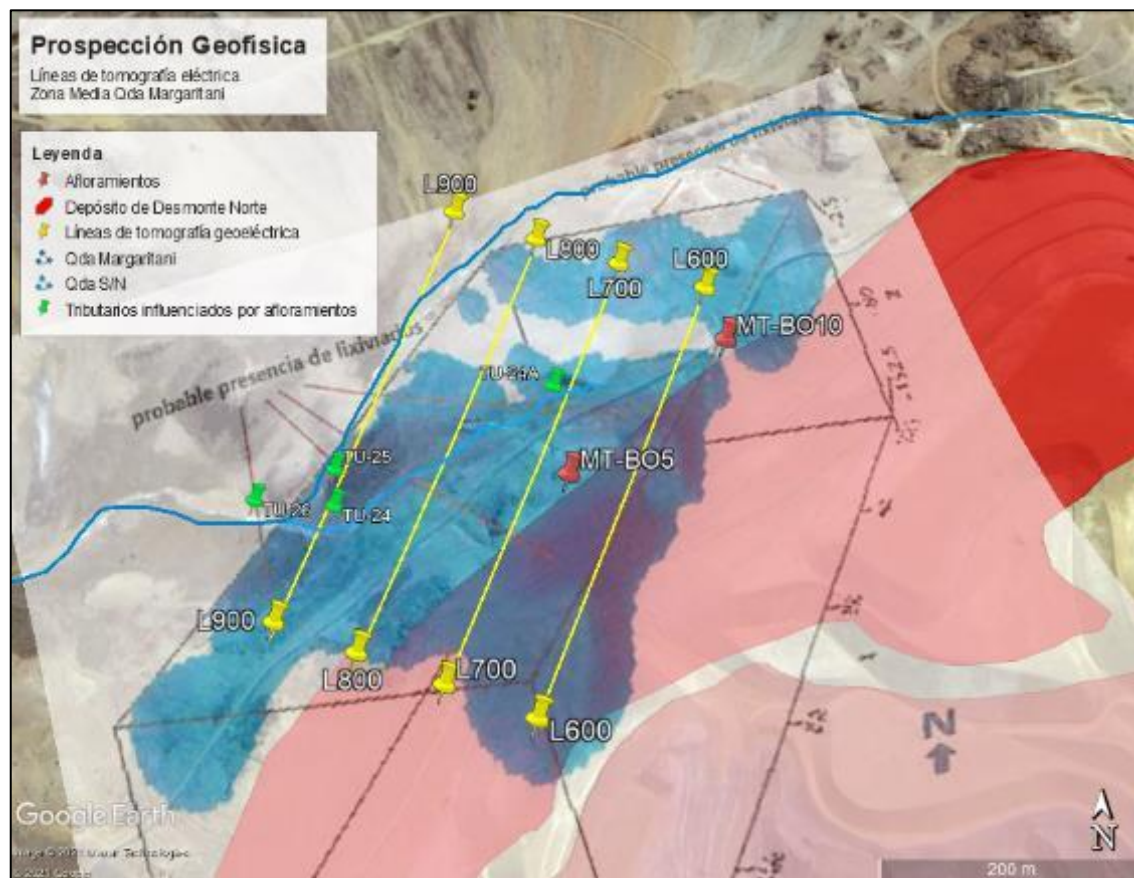


Figura 43: Superposición de los resultados de la tomografía geoelectrica sobre la parte media de la quebrada

En la figura precedente se aprecia principalmente dos zonas con los valores mínimos de resistividad (asociado a presencia de lixiviados), la primera zona se ubica en la parte este del componente depósito de desmonte norte y va desde la superficie hasta una profundidad de 50 metros aproximadamente, mientras que, la segunda zona con bajas resistividades se ubica próxima a los tributarios (quebrada S/N 2) influenciados por el DDN y coincide en superficie con la ubicación de los afloramientos observados en la supervisión codificados con los puntos MT-BO5 y MT-BO10.

Por lo tanto, los resultados de las tomografías geoelectricas indican que bajo la superficie del componente minero depósito de desmonte norte, se están generando lixiviados, los cuales coinciden en ubicación con los afloramientos detectados durante la supervisión ambiental 2017.

4.4.3. Impacto a la calidad de agua y los componentes bióticos flora y fauna

Según lo señalado por (Schmiermund & Drozd, 1997), para caracterizar cuerpos de agua que han sido receptores de DAM, existen cinco (05) parámetros a analizar: i) el pH, ii) concentración de metales pesados, iii) concentración de aluminio y hierro, iv) cantidad de sulfatos y v) turbidez y sólidos suspendidos.

Teniendo en cuenta las características señaladas, se analizaron los valores de pH y se obtuvo valores entre 2.35 a 3.26, muy por debajo del mínimo establecido en el ECA para agua.

Con respecto al contenido de metales pesados como el aluminio, cadmio, cobre, arsénico y hierro, las concentraciones superaron ampliamente el valor máximo del ECA para agua, además las concentraciones más altas se presentaron en las estaciones de monitoreo TU-21, TU-24 y TU-26 los cuales corresponden a los tributarios influenciados por los afloramientos.

Otro indicador fue la cantidad de sulfatos, en donde los once (11) puntos evaluados superaron el ECA para agua, nuevamente los valores más altos se encontraron en los puntos TU-21, TU-24 y TU-24^a, ubicados en los tributarios en donde descargan los afloramientos.

Finalmente, se analizó el parámetro físico-químico, sólidos suspendidos totales, el cual determina turbidez (capacidad de absorber la luz que a su vez determina la existencia de un ecosistema acuático) en los flujos de agua, se asocia a presencia de partículas coloidales macromoleculares, las cuales son importantes para el transporte de metales por el fenómeno de adsorción (Favas, Sarkar, Rakshi, Venkatachalam, & Prasad, 2016), los puntos TU-21, TU-24 y TU-26 presentaron valores superiores con respecto al resto.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados presentados por los afloramientos, ellos estarían siendo afectados por el fenómeno del DAM, el cual se estaría produciendo en la zona del depósito de desmonte norte, al cumplir con las características de cuerpos receptores de DAM.

A su vez, dichos afloramientos estarían influenciando las quebradas sin nombre 1 y 2, tributarios de la quebrada Margaritani afectando su calidad, ya que, altas concentraciones de sulfatos y metales pesados no solo incumplen el ECA para agua, sino que se siguen incrementando en los puntos agua abajo del componente depósito de desmonte norte.

De acuerdo a la clasificación de calidad ambiental del recurso hídrico superficial quebrada Margaritani, se verifica que el único punto muestreado que presenta calidad buena, es aquel ubicado antes del depósito de desmonte (agua arriba), mientras que, los puntos de muestreo

influenciados por este componente (aguas abajo) calificaron como de pésima calidad. Este resultado advierte la contaminación de la quebrada y por ende que requiere de tratamiento antes de ser utilizada.

En cuanto a la flora y fauna, se ha verificado que existe escasa vegetación y fauna, por lo tanto, según los efectos adversos vinculados a la intoxicación por metales pesados, existe el daño potencial de disminución de número de individuos por intoxicación desde los inicios de la cadena trófica.

V. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados del monitoreo de línea base ejecutado en agosto del 2012, la quebrada Margaritani ya presentaba condiciones de pH ácido y presencia de metales antes de la ampliación del componente depósito de desmonte norte; sin embargo, hace falta el monitoreo aguas arriba del componente minero para precisar el impacto y contaminación ocurrida sobre la quebrada Margaritani. En cuanto a la línea base biológica se determinó una baja diversidad de especies, así como un bajo número de individuos.

La caracterización geoquímica y tomografía geoelectrica realizadas sobre el depósito de desmonte norte evidenciaron que el mismo es potencial generador de acidez y la existencia de lixiviados respectivamente, lo cual concuerda con la aparición de afloramientos con presencia de metales ubicados en el pie del depósito.

Los afloramientos detectados en la supervisión contenían una alta concentración de metales pesados como el aluminio, arsénico, cadmio, plomo, cobre, hierro disuelto, manganeso y zinc que superan los Límites Máximos Permisibles para actividades minero – metalúrgicas (D.S. 010-2010-MINAM). Por lo tanto, su descarga sobre los tributarios de la quebrada Margaritani, representan un daño potencial al recurso hídrico y la flora y fauna que hace uso del mismo.

Los resultados del monitoreo en 2017, estableció los niveles de contaminación en la quebrada Margaritani y sus tributarios (quebrada S/N 1 y S/N 2), toda vez que, las concentraciones de sulfatos, arsénico, aluminio, cadmio, cobalto, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc incumplen con lo determinado en el ECA para agua Categoría 3. Con el análisis del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos ICARHS, se categorizó a la quebrada Margaritani como pésima, (con la excepción el punto TU-40 situado aguas arriba del componente minero).

Mediante este trabajo se concluye que existe un impacto a la calidad del agua de la quebrada Margaritani, el cual proviene de la descarga de los afloramientos con alta carga de metales pesados y pH ácido que proviene del componente minero depósito de desmonte norte.

VI. RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores, se sugiere que la línea base ambiental contenga una mayor cantidad de puntos de muestreo situados a lo largo del cuerpo de agua superficial incluyendo sus tributarios, los puntos se deberán distribuir aguas arriba y aguas abajo de los principales componentes mineros, conforme se señala en el Protocolo Nacional de Monitoreo vigente, esto con el propósito de poder relacionar los cambios en la calidad de agua con la actividad de los componentes mineros circundantes.

También se recomienda contar con estudios hidrogeológicos para tener un mejor conocimiento sobre el recorrido que hacen los lixiviados hacia fuentes de agua superficial, estudios hidrobiológicos para ampliar el conocimiento sobre el impacto en ecosistemas acuáticos influenciados por efluentes mineros y estudios biológicos detallados que contengan registro de número de especies e individuos para una mejor evaluación y cuantificación de la variación en la diversidad y riqueza de especies.

Además, se sugiere realizar pruebas de permeabilidad y ABA a componentes mineros para identificar si son potenciales generadores de drenaje ácido y lixiviados, de esa manera hacer un seguimiento en su operación y contar con evidencia objetiva sobre problemas de infiltración de lixiviados.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente, M. d. (2014). Ley N° 27446 LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Lima, Perú.
- ANA. (2016). *Glosario de Terminos de los Recursos Hídricos*.
- ANA. (Mayo de 2020). Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS).
- Blowes, D. W., Ptacek, C. J., & Weisener, C. J. (2003). *The Geochemistry of acid mine drainage*. London: Elsevier Ltd.
- Delgado, O. (2019). *Aplicación de Métodos Geoeléctricos para la Detección de Zonas de Filtración en la Presa Gonzalo N. Santos, San Luis Potosi*. San Luis de Potosi: IPICYT.
- Favas, P., Sarkar, S., Rakshi, D., Venkatachalam, P., & Prasad, M. (2016). *Acid Mine Drainages from Abandoned Mines*. London: Elsevier Inc.
- Ficklin, W. H., Plumlee, G. S., Smith, K. S., & McHugh, J. B. (1992). *Geochemical classificaton of mine drainages and natural drainages in mineralized areas*. Rotterdam.
- Herrera Catalán, P., & Millones Destéfano, O. (2011). *¿CUÁL ES EL COSTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL MINERA SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICO EN EL PERÚ?* Lima.
- Jain, R. K., Cui, Z. C., & Domen, J. K. (2016). *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing*. London: Elsevier Inc.
- MINAM. (2013). *Guía para Muestreo de Suelo*.
- MINEM. (s.f.). *GUIA AMBIENTAL DE MANEJO Y TRANSPORTE DE CONCENTRADOS*. Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaminera-xviii.pdf>

Orellana, E. (1982). *Prospección geo-eléctrica en corriente continua*.

Schmiermund, R. L., & Drozd, M. A. (1997). *Effects of Mining on the Environment and American Environmental Controls on Mining*. London: Imperial College Press.

Simate, G. S., & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and Opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1785-1803.

VIII. ASEGURAMIENTO

La información utilizada en el desarrollo del presente Trabajo de Suficiencia Profesional es de acceso público y fue obtenida del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA y del Ministerio de Energía y Minas MINEM.