



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

Facultad de
**INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA PARA
DETERMINAR EL POTENCIAL DE ACIDEZ DE
LOS DEPÓSITOS DE DESMONTE DE LA UM
SAN RAFAEL – PUNO**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR (A)

Paredes Trujillo, Sael Jhonatan

ASESOR (A)

Zamora Talaverano, Noé Sabino

Lima - Perú
2016

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS:

**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL
DE ACIDEZ DE LOS DEPÓSITOS DE DESMONTES DE LA UM SAN RAFAEL –
PUNO”**

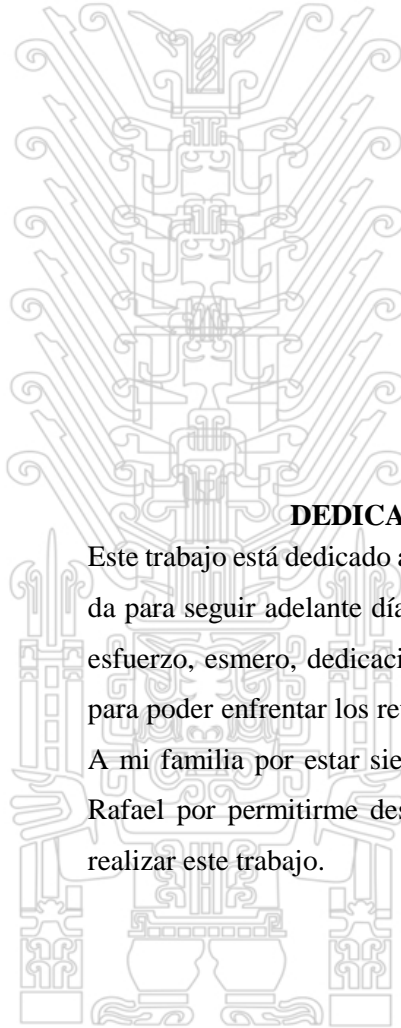
Presentado por el bachiller:

PAREDES TRUJILLO, SAEL JHONATAN

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

LIMA – PERU

2015



DEDICATORIA

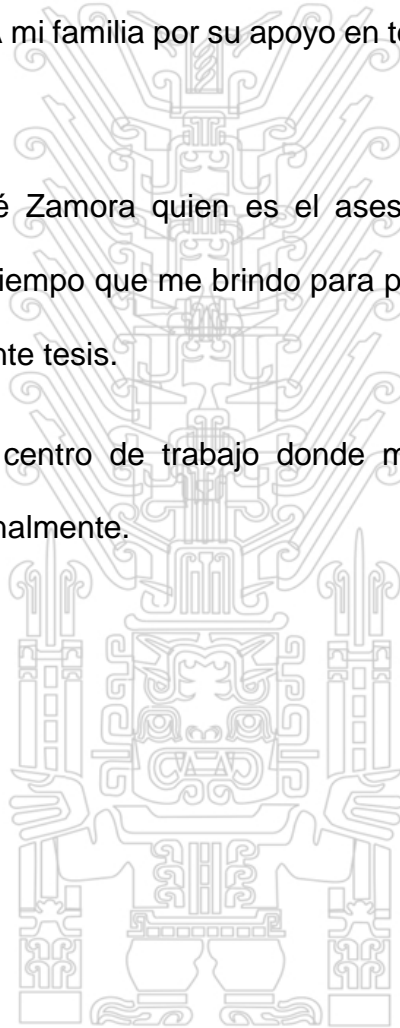
Este trabajo está dedicado a Dios, por la fuerza y fe que me da para seguir adelante día a día. A mi Madre que con su esfuerzo, esmero, dedicación y amor, me inculco valores para poder enfrentar los retos que se presentan en la Vida. A mi familia por estar siempre con migo y a la UM san Rafael por permitirme desarrollarme profesionalmente y realizar este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por permitirte seguir creciendo como persona y profesionalmente. A mi Madre y Hermana que con su esfuerzo, esmero, dedicación y amor, me inculco valores para poder enfrentar los retos que se presentan en la Vida. A mi familia por su apoyo en todos los proyectos que me encamino.

Agradezco al Ing. Noé Zamora quien es el asesor de esta tesis, por sus consejos, paciencia y tiempo que me brindo para poder lograr el objetivo que es desarrollar la presente tesis.

A la UM San Rafael centro de trabajo donde me permiten que me siga desarrollando profesionalmente.



RESUMEN

Las rocas con contenido de sulfuro se hallan presentes en todo ambiente geológico. En condiciones naturales el agua subterránea y el material superficial (suelo) que cubren las rocas minimizan el contacto con el oxígeno impidiendo que la generación de ácido sea rápida, de manera que el efecto de la calidad de agua será significativo. La exposición de roca con sulfuro reactivo (pirita marcasita, pirrotita, etc.) al aire y al agua, a consecuencia de actividades de construcción, puede acelerar la velocidad de generación de ácido y ocasionar un impacto negativo en el ambiente.

La presente tesis tiene como objetivo caracterizar geoquímicamente los depósitos de desmonte de la UM San Rafael, partiendo inicialmente de la identificación de las zonas donde se depositan desmonte en la Unidad.

En el trabajo se identificaron 6 zonas donde se depositan desmonte, se realizó el análisis de 40 muestras a través de pruebas cinéticas y se realizó el análisis de 1 prueba estática. De los resultados se obtuvo que la CD-35 presentaba potencial de generación de acidez por lo que se recomendó realizar controles a esta Cancha para minimizar los impactos en el Ambiente.

Palabras Claves:

Caracterización geoquímica, Manejo de recursos de agua ácida, Desmontera, Drenaje Ácido de Roca, Sellos, Geoquímica, Estabilidad Geoquímica, pruebas estáticas, pruebas cinéticas

ABSTRACT

Rocks containing sulfide are present in all geological environment. Under natural conditions the groundwater and surface material (soil) covering rocks minimize contact with oxygen preventing the generation of acid fast, so that the effect of water quality will be significant. Exposure rock reactive sulfide (pyrite, marcasite, pyrrhotite, etc.) into air and water as a result of construction activities can accelerate the rate of generation of acid and cause a negative impact on the environment.

This thesis is geochemically characterize objetivo clearing despositos UM San Rafael, initially starting with the identification of areas where deforestation is deposited on the unit.

At work 6 areas they identified disassemble deposited, the analysis of 40 samples atrabes kinetic tests were conducted and the analysis of 1 estativca test was performed. From the results it was found that the CD-35 had potential to generate acidity so were recommended to this Court controls to minimize impacts on the environment.

Keywords:

Geochemical characterization, Management acidic water resources, Desmontera , Acid Rock Drainage , Stamps , Geochemistry , Geochemistry Stability , static tests , kinetic tests .

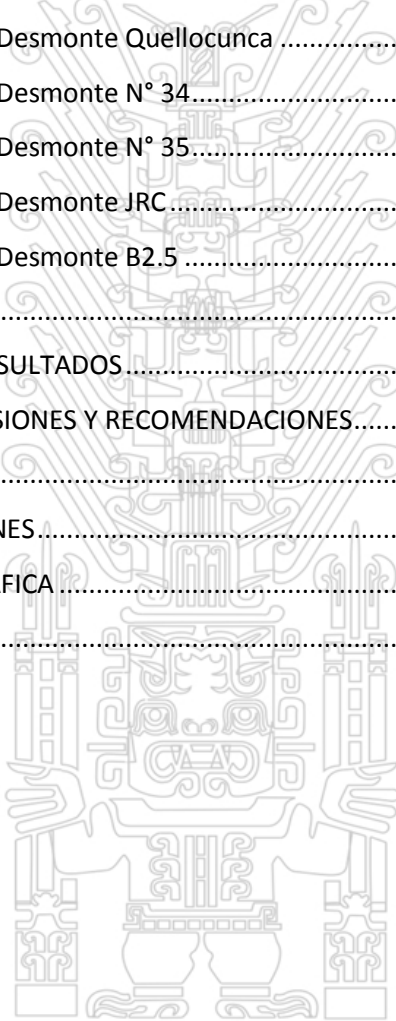
INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
I. CAPÍTULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.1. ANTECEDENTES.....	15
1.2. EN EL ÁMBITO NACIONAL.....	15
1.3. EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL.....	18
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.4.1. Descripción del Problema.....	20
1.4.2. Formulación del Problema.....	22
1.5. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	22
1.5.1. Objetivo General.....	22
1.5.2. Objetivos Específicos.....	22
1.6. HIPOTESIS.....	23
1.7. VARIABLES.....	23
1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	23
1.8.1. Justificación.....	23
1.8.2. Importancia.....	24
1.8.3. Beneficios.....	25
1.8.4. Alcance.....	25
1.9. LIMITACIONES.....	26
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O FUNDAMENTO DE REFERENCIA.....	27
2.1. BASE TEÓRICAS.....	27
2.1.1. Test ABA (Acid-Base Accounting).....	27
2.1.2. Caracterización Geoquímica.....	28
2.1.3. Geoquímica.....	28
2.1.4. Desmonte.....	28
2.1.5. Tratamiento de aguas ácidas en minería.....	29

2.2.	REVISIÓN LITERARIA.....	31
2.3.	MARCO LEGAL.....	38
2.3.1.	Estado Peruano	38
2.3.2.	Ministerio del Ambiente (MINAM)	39
2.3.3.	Ministerio de Energía y Minas (MEM)	40
2.3.4.	DS-040-2014-EM	42
2.4.	MARCO LEGAL AMBIENTAL.....	43
2.4.1.	Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.....	45
2.4.2.	Reglamento sobre Protección Ambiental	46
2.4.3.	Ley de Cierre de Minas.....	47
2.4.4.	Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera	49
2.4.5.	Guías Ambientales	50
3.	CAPITULO III: MATERIALES EQUIPOS Y MÉTODOS	51
3.1.	MATERIALES Y EQUIPOS DE CAMPO.....	51
3.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.2.1.	Tipo de Investigación	53
3.2.2.	Método y Diseño de la Investigación	54
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.3.1.	Población.....	54
3.3.2.	Muestra.....	55
3.4.	TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos.	55
3.4.2.	Instrumentos de recolección.	56
3.5.	FASES DE RECOLECCIÓN.....	57
4.	CAPITULO IV: CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	59
4.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	59
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	62
4.3.	GEOMORFOLOGÍA.....	65
4.3.1.	Laderas Cordilleranas.....	66
4.3.2.	Lomas	67

4.3.3.	Precipitación	68
4.3.4.	Temperatura	70
4.3.5.	Humedad Relativa (%).....	71
4.3.6.	Velocidad y Dirección del Viento	72
4.3.7.	Hidrología.....	75
4.4.	AMBIENTE BIOLÓGICO.....	77
4.4.1.	Zonas de Vida.....	77
4.4.2.	Flora Terrestre.....	78
4.4.3.	Tipos de Vegetación.....	79
4.4.4.	Cobertura Vegetal.....	79
4.5.	ESTABILIDAD GEOQUÍMICA EN LA UM SAN RAFAEL.....	80
4.5.1.	Condiciones Geoquímicas para Depósitos de Desmonte	80
4.5.2.	Potencial Neto de Neutralización (Pnn).....	81
5.	CAPITULO V: RESULTADOS.....	84
5.1.	IDENTIFICACIÓN DE DEPÓSITOS DE DESMONTE	84
5.1.1.	Depósito de desmonte Quelloconca.....	84
5.1.2.	Depósito de desmonte N° 34.....	86
5.1.3.	Depósito de desmonte N° 35.....	87
5.1.4.	Depósito de Desmonte JRC.....	89
5.1.5.	Depósito de Desmonte B2.5.....	90
5.1.6.	Dique Bofedal III.....	92
5.2.	RESULTADOS DE LABORATORIO	93
5.2.1.	Depósito de Desmonte Quelloconca.....	93
5.2.2.	Depósito de Desmonte N° 34.....	94
5.2.3.	Depósito de Desmonte N° 35.....	94
5.2.4.	Depósito de Desmonte JRC.....	95
5.2.5.	Depósito de Desmonte B2.5.....	95
5.2.6.	Dique BIII.....	95
6.	CAPITULO Nº VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101
6.1.1.	Desmontera Quelloconca	103

6.1.2.	Depósito de Desmonte N° 34.....	105
6.1.3.	Depósito de Desmonte N° 35.....	106
6.1.4.	Depósito de Desmonte JRC.....	108
6.1.5.	Depósito de Desmonte B2.5	109
6.1.6.	Dique BIII.....	111
6.2.	MEDIDAS DE CONTROL.....	112
6.2.1.	Depósito de Desmonte Quellocunca.....	112
6.2.2.	Depósito de Desmonte N° 34.....	113
6.2.3.	Depósito de Desmonte N° 35.....	114
6.2.4.	Depósito de Desmonte JRC.....	116
6.2.5.	Depósito de Desmonte B2.5	117
6.2.6.	Dique BIII.....	118
6.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	119
7.	CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
7.1.	CONCLUSIONES.....	120
7.2.	RECOMENDACIONES.....	121
8.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	122
9.	ANEXOS.....	124



Índice de Tablas

Tabla N° 1	<i>Precipitación Estimada para la Unidad Minera San Rafael</i>	69
Tabla N° 2	<i>Temperatura Mensual - Estación San Rafael (1999-2011)</i>	70
Tabla N° 3	<i>Humedad Relativa Promedio Mensual - Estación San Rafael</i>	71
Tabla N° 4	<i>Humedad Relativa Promedio Anual - Estación San Rafael</i>	72
Tabla N° 5	<i>Velocidad Mensual del Viento - Estación San Rafael</i>	73
Tabla N° 6	<i>Velocidad Anual del Viento - Estación San Rafael</i>	73
Tabla N° 7	<i>Dirección Predominante Mensual del Viento - Estación San Rafael</i>	74
Tabla N° 8	<i>Capacidad de Almacenamiento en Lagunas y Represas</i>	76
Tabla N° 9	<i>Composición y Riqueza Florística</i>	79
Tabla N° 10	<i>Primer criterio de estabilidad química</i>	83
Tabla N° 11	<i>Segundo criterio de estabilidad química</i>	83
Tabla N° 12	<i>Resultados de Laboratorio - Quellocunca</i>	93
Tabla N° 13	<i>Resultados de Laboratorio – Desmonte N° 34</i>	94
Tabla N° 14	<i>Resultados de Laboratorio – Desmonte N° 35</i>	94
Tabla N° 15	<i>Resultados de Laboratorio – Desmonte JRC</i>	95
Tabla N° 16	<i>Resultados de Laboratorio – Desmonte B2.5</i>	95
Tabla N° 17	<i>Resultados de Laboratorio – Dique B3</i>	96
Tabla N° 18	<i>Resultados de Laboratorio - Cinético</i>	97
Tabla N° 19	<i>Resultados de Laboratorio - NAG</i>	97
Tabla N° 20	<i>Resultados de Laboratorio – pH en Pasta</i>	99
Tabla N° 21	<i>Resultados de Laboratorio - Metales</i>	100
Tabla N° 22	<i>Resultados de Laboratorio</i>	102

Índice de Gráficos

Grafico N° 1	<i>Etapas de Mineralización Interior mina UM San Rafael</i>	64
Grafico N° 2	<i>Elementos para la generación de acidez</i>	81
Grafico N° 3	<i>Tendencia de Generación de acidez - Quellocunca</i>	104
Grafico N° 4	<i>Tendencia de Generación de acidez desmonte N° 34</i>	106
Grafico N° 5	<i>Tendencia de Generación de acidez Desmonte N° 35</i>	107
Grafico N° 6	<i>Tendencia de Generación de acidez Desmonte JRC</i>	109
Grafico N° 7	<i>Tendencia de Generación de acidez Desmonte B2.5</i>	110
Grafico N° 8	<i>Tendencia de Generación de acidez Dique BIII</i>	111
Grafico N° 9	<i>Tipo de Cobertura 2 - Quellocunca</i>	113
Grafico N° 10	<i>Tipo de Cobertura 2 – Desmonte N° 34</i>	114
Grafico N° 11	<i>Tipo de Cobertura 2 – Desmonte N° 35</i>	115
Grafico N° 12	<i>Tipo de Cobertura 2 – Desmonte JRC</i>	117
Grafico N° 13	<i>Tipo de Cobertura 3 – Desmonte B2.5</i>	118

INTRODUCCION

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

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

Los minerales producidos en el Perú son de gran demanda en el mercado mundial actual, cuyo desarrollo se basa en la producción y la industria. Estados Unidos, China, Suiza, Japón, Canadá y la Unión Europea son los principales demandantes.

Uno de los aspectos ambientales de la producción minera es la generación de drenaje ácido de roca (desmonte de mina) que es material estéril o mineral de baja ley (con una ley de mineral que se encuentra por debajo del nivel económico conocido como en minería como Cut Off) que se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina o que es

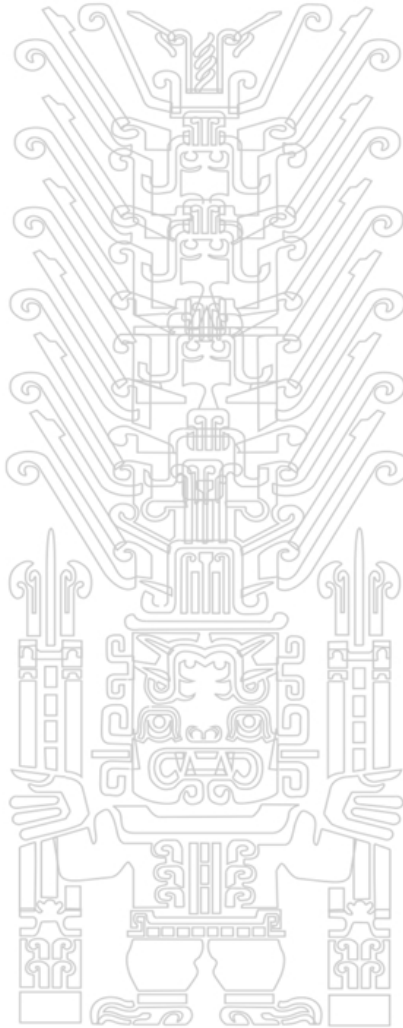
obtenido como material de desbroce para acceder al mineral. La relación entre los volúmenes de desmorte y mineral se denomina Stripping de manera que si se trata de un Stripping 3:1 representa 3 TM de desmorte por TM de mineral y esa es la nomenclatura que se usa normalmente en la industria. A diferencia del mineral que es extraído la mina depara su debido procesamiento, el desmorte o material estéril sigue otra ruta y requiere ser desechado de manera apropiada para asegurar condiciones aceptables de seguridad y medio ambiente. Esto significa el acarreo y disposición de importantes cantidades de material que deben ser dispuestos en botaderos especialmente acondicionados para ello. El tipo de botadero dependerá principalmente de la caracterización del material de desmorte que va a depositarse en dicho depósito. Existe una gran experiencia local en la gestión apropiada del desmorte de mina cuyas principales consideraciones es el impacto en el recurso hídrico.

El manejo de los recursos de agua constituye una parte vital e integral en las operaciones mineras debido al potencial de contaminación del agua y su efecto consecuente en la salud humana y el medio ambiente. El manejo ambiental de este recurso comprende el manejo de aguas en minas, efluentes de procesos de beneficio, escorrentías de las soluciones de lixiviación, aguas superficiales provenientes de depósitos tales como las pilas de desmorte y canchas de relaves, y los desechos humanos.

El agua es el elemento fundamental en la formación de aguas ácidas de mina, en presencia de aire y bacterias, actúa como reactivo en la oxidación de la pirita, la cual se encuentra tanto en el mineral, como en la roca encajonante. Es muy frecuente que el material de desmonte, carente de mineral económico, esté compuesto por importantes porcentajes de sulfuros de fierro como la pirita. Este desmonte generalmente es acumulado en las bocaminas y botaderos, desmonteras y es además el principal constituyente de los relaves. En muchos casos, las cavidades dejadas por el minado subterráneo o a tajo abierto son rellenadas con desmonte o con relave, material que debido a su contenido piritoso facilita la generación de aguas ácidas. Para controlar la generación de aguas ácidas en las minas, es casi imposible erradicar la pirita, por lo que es preferible manejar el ingreso de agua y aire a las labores mineras, con lo cual puede reducirse drásticamente el problema. Existen técnicas preventivas basadas principalmente en el manejo del agua, las cuales están referidas a lo siguiente:

- Desvío de aguas superficiales y subterráneas.
- Sellado con arcilla, compactación del relleno e impermeabilización de la superficie de escombreras y relaveras.
- Manipulación de la cobertura y colocación de lechos de caliza.
- Inhibición bacteriana mediante bacterias, detergentes aniónicos, sustancias orgánicas conservantes, e inyección alcalina.

Es importante conocer el impacto ambiental que genera el material estéril o también llamado desmonte a fin de proponer alternativas de solución según sea el caso evaluado, protegiendo principalmente el recurso hídrico, la salud humana y otros que podrían verse perjudicado por dicho material



I. CAPÍTULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS.

1.1. ANTECEDENTES.

1.2. EN EL ÁMBITO NACIONAL

En la Unidad Minera San Rafael, no se cuentan con estudios de caracterización geoquímica de los desmontes que son depositadas en las diferentes desmonteras de la Unidad, lo cual representa un riesgo ambiental ya que no se sabe con exactitud si son o no productores de drenaje ácido de roca.

Sin embargo se tienen referencia de otros estudios en otras Unidades Mineras y leyes que regulan esta actividad.

SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, Raquel Jacovet, (2013) “Estudio de caracterización geoquímica del material de desmonte de una mina a tajo abierto en el sur del Perú” (2013) Presenta los resultados de la caracterización geoquímica ambiental del material de desmonte de un yacimiento minero de pórfido de cobre al sur del Perú. Estos resultados otorgan información técnica válida para el manejo del material de desmonte y la planificación del cierre de la mina en relación con la protección de la calidad del agua.

Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Tía María (2009) Con el fin de obtener datos con respecto al potencial de generación de drenaje ácido de los materiales que estarán expuestos a las condiciones atmosféricas como son el desmonte y ripios se realizó la caracterización geoquímica de estos materiales.

El presente estudio se realizó en dos etapas, la primera etapa fue realizada en diciembre 2007, en la cual se caracterizaron los desmontes (constituido principalmente de material aluvial) de ambos depósitos de mineral, mientras que en la segunda etapa realizada en julio del 2008, se caracterizaron los rípios de las pruebas metalúrgicas del mineral y también desmonte, éste constituido principalmente de material de baja ley ubicado en la zona de sulfuros y mixtos.

Estudio de Impacto Ambiental Suplementario Yanacocha Oeste (2006) Se realizaron cuatro fases de recolección de datos y análisis para caracterizar la geoquímica del desmonte y de las paredes finales de los tajos. El programa de caracterización inicial comprendía pruebas analíticas estáticas diseñadas para calcular el potencial de generación de ácido del desmonte. Este tipo de prueba se realizó en un elevado número de muestras e incluyó los análisis XRD-XRF (cuyos resultados se presentaron en la Sección 3.3.6) y el balance ácido-base (BAB) estándar. La segunda fase comprendió pruebas BAB adicionales y de lixiviación a corto y largo plazo en un número selecto de muestras representativas. Las pruebas dinámicas de lixiviación se han diseñado para calcular la tasa esperada de generación de acidez y la calidad del mismo que puede producirse por la exposición del material con potencial de generación de acidez al aire y agua durante el tiempo. Las pruebas de lixiviación utilizadas incluyen el Procedimiento de Lixiviación de agua meteórica, que es una prueba de lixiviación a corto plazo, y pruebas de celdas de humedad “adaptadas”, como pruebas de largo plazo.

Katia Cecilia Guanira “Proyecto Tantahuatay, Compañía de Minas Buenaventura” (2009) Plan de Manejo de Roca de Desmonte con fines de ser incluido en el EIA. Selección de muestras de desmonte de zonas en el futuro tajo que tendrían potencial de generación DAR. Diseñó el plan de pruebas de laboratorio, análisis e interpretación de resultados.

VECTOR PERÚ S.A.C. (2006) Realizo estudios DAR (drenaje ácido de roca) para evaluar el potencial de generación de acidez de las litologías críticas que comprende el proyecto de oro y plata de Tukari. El alcance del estudio incluye tanto las instalaciones existentes así como futuras expansiones.

HURTADO GUERRERO, Yvan (2002) Realizó un estudio de “Prospección Geoquímica del Cuadrángulo de Chalhuanca (29-p) - Inventario de Recursos Minerales”, ubicado en la provincia de Abancay. Consistía en definir áreas con anomalías geoquímicas que pudiesen orientar e identificar depósitos minerales económicos ocultos o aún no reconocidos. Pudiéndose considerar como zonas prospectables los sectores de Ayahuay, Huancaray, Queroc y Tapayrihua por (Au, Cu, Mo) y a los sectores Cucchi, Allallaca, Saraica, Promesa y Chueja por (Pb, Zn, Cu). Razón por la que estos resultados deberán ser confirmados, mediante el muestreo en mallas de suelos y rocas de la zona de interés.

AVALOS REYES, José Adalberto, (2013), Tesis para optar el título profesional “Caracterización Geoquímica Para Determinar El Potencial De Acidez Del Depósito De Desmonte Sierra Nevada – Morocha –Yauli – Junín”

1.3. EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL

LOPEZ R., Kristell M. (Venezuela 2010), Tesis para Optar el Título Profesional “Caracterización geológica - geoquímica para determinar anomalías auríferas asociadas al Cu, Fe, Zn y Bb en la zona I de la concesión minera chocó 3, perteneciente a C.V.G Minerven. Municipio autónomo el callao, estado Bolívar. El presente trabajo tiene la finalidad de detectar anomalías geoquímicas de la zona estudiada de Chocó 3. El mismo podría actuar como un aporte a la exploración, ya que los análisis de muestreo permitirán tomar decisiones en cuanto a un mallado más reducido, trincheras y sondeos exploratorios.

LOPEZ PAMO, E. (España 2002), realizo el trabajo de investigación “Tratamiento de Pasivos de Drenajes Ácidos de Mina: estado actual y perspectivas de futuro” En este trabajo se hace una revisión bibliográfica de las últimas innovaciones tecnológicas alcanzadas en el tratamiento pasivo de drenajes ácidos de mina. También se estudian los resultados obtenidos en las diversas experiencias de laboratorio y de campo a nivel mundial, con el fin de dar las pautas necesarias para su dimensionamiento y una correcta elección del método de tratamiento.

QUINTERO NAVAS, Jairo Navas (Colombia 2011), Tesis para obtener el Grado de Título en Geología - “Caracterización Geoquímica de la Roca Fuente de Hidrocarburos del Paleozoico Superior de las Formaciones Diamante y Tiburón, Cordillera Oriental, Colombia”, La investigación tuvo por objetivo realizar una caracterización geoquímica de la posible roca fuente de hidrocarburos del Paleozoico Superior de la Formaciones Diamante y Formación Tiburón, a partir de muestras tomadas en campo.

Fernández Turiel, J. (España 1996) realizó la investigación “Geoquímica y Mineralogía Aplicada a Estudios de Impacto Ambiental Derivado de la Combustión de Carbón” En la investigación se muestran dos ejemplos de aplicación de geoquímica y mineralogía al estudio del impacto ambiental derivado de la combustión de las centrales termoeléctricas de carbón. La investigación se centra en el estudio del comportamiento de elementos traza durante la combustión del carbón, en la determinación de balances de emisiones de elementos traza en una gran central térmica y sobre la delineación de áreas de impacto alrededor de la misma por medio del seguimiento de las cenizas volantes.

ABARCA ITHUARRALDE, Mathias (Chile 2010) Se realizó un estudio de “Geoquímica en Suelos Salinos en el distrito minero Mantos de la Luna”, cuyo objetivo de este trabajo es demostrar que la presencia de anomalías geoquímicas de los elementos (Cu, Na y Cl) al interior de las vetillas y fracturas rellenas en superficie presenta una fuerte relación con la mineralización en el

subsuelo. Para este fin se realizaron estudios geoquímicos y mineralógicos en el sector sur del Yacimiento Mantos de la Luna, un depósito del tipo estratoligado ubicado 20 Km al sur de Tocopilla al interior de la Cordillera de la Costa. Identificándose tres poblaciones según contenido en cobre al interior de las vetillas, encontrándose una fuerte relación entre la población anómala positiva alta (>200ppm) presente en arcillas y la mineralización del yacimiento en el subsuelo.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.4.1. Descripción del Problema

La minería es una de las actividades principales del País, la cual en la actualidad pasa por un proceso de cambio y desarrollo de nuevas estrategias en temas ambientales,

La legislación ambiental con el transcurrir de los años ha ido progresando y aplicándose de manera efectiva en el país, tal es el caso que en la actualidad todos los proyectos de exploración, explotación, cierre, tienen que tener un Instrumento de Gestión Ambiental Aprobado por la Autoridad Competente, con el objetivo de controlar, mitigar y prevenir todos los impactos que se podrían desarrollar en el desarrollo de un Proyecto,

Dentro de la identificación de impactos un aspecto importante en la minería es la caracterización geoquímica del material de desmonte, ya que no se sabe si los materiales de desmonte depositados son generadores de acides o no, esto

trae consigo problemas de contaminación de aguas, degradación de suelos, ya que en muchos casos las infraestructuras utilizadas para los depósitos de desmonte no son las adecuadas.

La UM San Rafael actualmente, no cuenta con un estudio de caracterización geoquímica de desmonte, tampoco tiene un manejo adecuado de estos desmontes depositándolos de manera desordenada dentro de la Unidad Operativa.

Estudios sobre la generación de drenajes ácidos sugieren que la formación de drenaje ácido depende directamente de varios factores; de la mineralogía primaria (sulfures y minerales neutralizadores), presencia de agua (clima), difusión de oxígeno, tamaño del grano, interacción microbiológica (bacterias), entre otros.¹ En particular, los desmontes de mina pueden contener sulfúros metálicos que, al quedar expuestos al oxígeno de la atmósfera, son oxidados y generan drenaje ácido de roca, es decir, ácido sulfúrico y metales en solución, iniciando una fuente de contaminación, de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos trayendo como consecuencias efectos en la flora, fauna y la salud humana.

En tal sentido, con la finalidad de determinar si el material de desmonte de mina es generador de acidez y poder plantear medidas de control para evitar la generación de drenaje ácido de roca, se realizará una caracterización

¹ (Lapakko, 2002; Vogt et al., 2003; Morales, 2003; Dold, 2005).

geoquímica, basada en pruebas estáticas (análisis ABA) y cinéticas, para la determinación del potencial de acidez del material de desmonte de mina.

1.4.2. Formulación del Problema

La presente investigación se basó en el siguiente problema:

- ¿Cuál es el potencial de acidez, del material de desmonte, depositado en las desmonteras de la UM San Rafael, de acuerdo a su caracterización geoquímica?

1.5. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General.

- Realizar la caracterización Geoquímica del material de desmonte de la UM San Rafael, mediante pruebas geoquímicas (ABA) y cinéticas para predecir el potencial de acidez de las desmonteras de la UM San Rafael

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Identificar las zonas donde se depositan material de desmonte en la UM San Rafael.
- Determinar mediante pruebas geoquímicas el potencial de acidez de desmonte depositados en las diferentes desmonteras de la UM San Rafael.
- Plantear medidas preventivas y/o correctivas, para prevenir impactos ambientales a causa de la generación ácida de las desmonteras.

1.6. HIPOTESIS.

La caracterización geoquímica de desmonte, permitirá conocer si los depósitos de desmonte de la UM San Rafael son potenciales generadores de acides y si estos presentan algún riesgo ambiental por sus características geoquímicas.

1.7. VARIABLES.

Dependientes	Independientes	Unidad de Medida
Generación de Drenaje Acido de roca	Mineralogía de Desmonte	mg/ton
	Demanda de oxigeno	Mg/l
	Clima	°C,mm

1.8. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.8.1. Justificación

Según la Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Minas, esta indica que de aproximadamente 180 minas operativas en el Perú unas 30 presentan un declarado problema de drenaje acido de rocas y es posible que existan otras concesiones que actualmente estén en operación que desconocen si generan o no drenaje acido de mina, esto por falta de estudios geoquímicos en los materiales que extraen de sus operaciones. Por ello la Unidad Minera San Rafael, se ve en la necesidad de contar con una caracterización geoquímica de estos materiales con el objetivo de determinar si existe o no el riesgo de generación de drenajes ácidos ya que durante mucho tiempo se ha venido utilizando diferentes zonas para la disposición de

desmonte sin contar con infraestructuras adecuadas para este fin. Por lo tanto al realizar una caracterización geoquímica basada en pruebas estáticas y cinéticas, se contribuirá a la predicción cualitativa de la generación de acidez a partir del material de desmonte de mina, contribuyendo para el análisis de estabilidad geoquímica y proponer medidas de control a largo plazo para poder manejar el problema de la generación de drenaje ácido de roca en la UM San Rafael.

Los beneficios de esta tesis ayudaran directamente a la UM San Rafael a tener un mayor control de los desmontes generados y poder determinar controles que permitan minimizar el riesgo de contaminación por drenaje acido de roca.

1.8.2. Importancia

La generación acida es uno de los grandes problemas que presenta la minería actual, ya que la mayoría de minas en el Perú presentan una mineralización con muchos contenidos de sulfuros lo que conlleva que al entrar en contacto con el oxígeno y agua se genere drenaje acido, esto es perjudicial para el medio ambiente ya que este drenaje acido en su mayoría se dirige a fuentes de agua superficial y subterránea.

La predicción del potencial de generación ácida de las diferentes desmonteras de la UM San Rafael es muy importante desde una perspectiva como ya se explicó ambiental pero también económica, ya que la identificación prematura de los materiales potencialmente generadores de ácido, permitirá el desarrollo

de un plan de manejo adecuado de los desmontes, esto con el objetivo de reducir considerablemente los problemas ambientales a largo plazo que podrían ocurrir y los costos de las medidas correctivas y/o preventivas. Además, la identificación prematura y la incorporación de medidas de control, pueden reducir las obligaciones financieras de mantener instalaciones de recolección y tratamiento a largo plazo; por ejemplo, mantener a perpetuidad una planta de tratamiento químico.

Por todo ello San Rafael ve la Importancia de realizar un estudio de caracterización geoquímica de los depósitos de desmorte.

1.8.3. Beneficios

Los beneficios a largo plazo serán tanto ambientales como económicos.

La Caracterización Geoquímica de Desmorte permitirá definir la dimensión actual del drenaje ácido de los desmontes, esto ayudara a la Unidad a diseñar y evaluar medidas de control proponiendo alternativas para prevenirlo o corregir los posibles impactos que podría tener un drenaje acido de los depósitos de desmorte.

1.8.4. Alcance

La presente investigación tiene como alcance la Caracterización Geoquímica de los Depósitos de Desmorte de la UM San Rafael. Como primer punto la investigación comprende la identificación de las zonas de la Unidad donde actualmente se depositen desmorte para luego ser caracterizadas

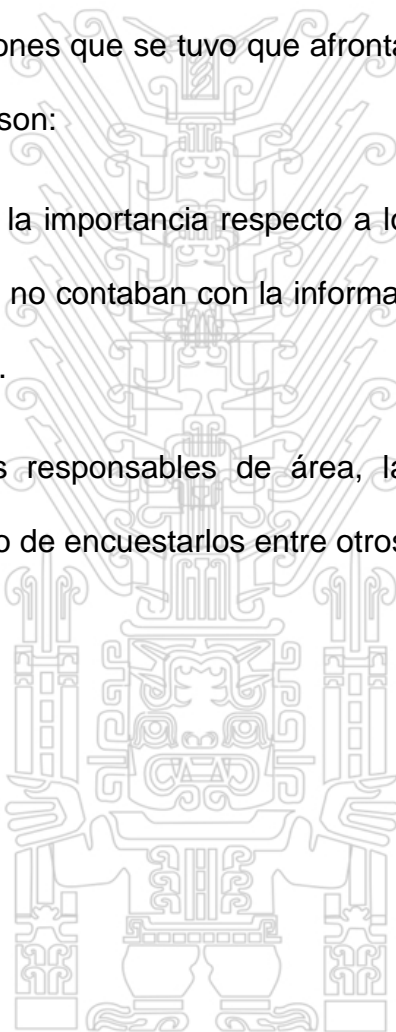
geoquímicamente y conocer el potencial de acidez de estas. Finalmente se plantearan medidas preventivas y/o correctivas, para prevenir impactos ambiental a causa de la generación acida.

1.9. LIMITACIONES

Las principales limitaciones que se tuvo que afrontar para la realización de la presente investigación son:

El desconocimiento de la importancia respecto a los objetivos del trabajo de investigación; por tanto no contaban con la información que se le solicitaba a las áreas responsables.

Desinterés de algunos responsables de área, la negativa de brindarnos información al momento de encuestarlos entre otros.



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO O FUNDAMENTO DE REFERENCIA

2.1. BASE TEÓRICAS.

2.1.1. Test ABA (Acid-Base Accounting)

Según el estudio de Golder del Plan de Cierre de Minas de la UM San Rafael (2012), para la caracterización del drenaje ácido de roca (DAR). La prueba modificada de balance ácido-base (ABA) ayuda a determinar la propensión de la roca de desecho o relaves a generar condiciones de acidez y ofrece parámetros de entrada para pruebas cinéticas.

La prueba ABA ofrece cuantificación de:

Cantidad total de sulfuro, sulfuro de azufre y concentraciones de sulfato presentes generación de ácido potencial (AP) relacionada con la oxidación de la concentración del sulfuro de azufre la neutralización potencial (NP) de la muestra. Si fuera necesario, se puede realizar una corrección de la siderita con el fin de oxidar el hierro ferroso antes de la determinación de NP. Las concentraciones de carbonato se analizan y pueden determinarse los valores NP del carbonato. El equilibrio entre AP y NP ayuda a definir el potencial de la muestra para generar el drenaje ácido.

El personal calificado según las mejores prácticas del sector. Debe contar con la técnica para ofrecer estrategias de mitigación así como soluciones innovadoras y prácticas para reducir el impacto ambiental de su sistema operativo.

2.1.2. Caracterización Geoquímica

Según el estudio de Golder del Plan de Cierre de Minas de la UM San Rafael (2012), la caracterización geoquímica es el proceso mediante el cual se determina la composición de los elementos que están conformando los materiales analizados, mediante pruebas químicas.

2.1.3. Geoquímica

Según el servicio Geológico mexicano (2016), la geoquímica estudia el origen, distribución y evolución de los elementos de la tierra, contenidos en los minerales formadores de las rocas y en los productos derivados de ellas, así como en los seres vivos, el agua y la atmosfera.

Uno de los objetivos de la geoquímica es determinar la abundancia de los elementos de la naturaleza, ya que esta información es básica para desarrollar hipótesis sobre el origen y la estructura de nuestro planeta y del universo.

2.1.4. Desmonte

Según la Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas del Ministerio de Energía y Minas (2008), los términos desmonte o roca de mina generalmente se emplea para hacer referencia a la sobrecapa y rocas que deben extraerse para ganar acceso al mineral. La mayor parte de desmonte se produce en la explotación a tajo abierto.

Generalmente esta roca es almacenada en la superficie, en grandes pilas o botaderos de desmonte. Esta roca también puede utilizarse para

construcciones en el lugar, como relleno para la construcción de cimientos, especialmente en terrenos montañosos, para la construcción de carreteras o represas, etc.

2.1.5. Tratamiento de aguas ácidas en minería

Según la Guía Ambiental para el manejo de Drenaje Acido de Minas del Ministerio de Energía y Minas (2008), el tratamiento químico del DAR es una tecnología ampliamente conocida y aceptable. Por lo general el tratamiento consiste en un circuito de neutralización química para extraer de la solución:

- ✓ La acidez por neutralización
- ✓ Los metales pesados – por hidrolisis y precipitación
- ✓ Otros contaminantes como solidos suspendidos, arsenato, antimonio por formación de un complejo y precipitación.

Las principales operaciones unitarias en una planta de tratamiento químico del DAR pueden ser:

- ✓ Poza de retención aguas arriba para el DAR
- ✓ Preparación de CAL (hidratación, mezcla de pulpa)
- ✓ Una o dos etapas de neutralización por agitación
- ✓ Tercera etapa para elimibacion de otros metales o aniones
- ✓ Separación liquido solido

- ✓ Retención de solución del efluente tratado para muestreo previo a la descarga.
- ✓ Disposición de residuo.

La primera y tal vez la segunda etapa de una planta de tratamiento, actualmente consiste en la neutralización de la cal en los tanques de agitación. Se pueden utilizar otras bases en una segunda o tercera etapa para el tratamiento de metales objeto de preocupaciones seleccionadas que no se extraen con la cal. Entre ellos:

- ✓ Soda caustica
- ✓ Ceniza de soda
- ✓ Hidrosulfuros de sodio
- ✓ Otros desechos con exceso de alcalinidad, incluyendo cenizas finas o relaves de molino.

Se debe tomar precauciones para utilizar otros desechos con el fin de asegurar que los metales solubles adicionales no sean añadidos al agua de drenaje. Además se debe aceptar el uso de desechos, como los relaves, aumenta la masa total de sedimento producido por la planta de tratamiento y del cual debería disponerse.

2.2. REVISIÓN LITERARIA

1. Acidez.- Es la capacidad de agua para reaccionar con los iones hidroxilo y refleja la presencia de iones de H^+ , Fe^{+2} y H_2SO_4 (Rivera, 2007).
2. Alcalinidad.- Está definida como la capacidad de un agua para reaccionar con los iones de H^+ y está basado primariamente en la presencia de iones carbonates y bicarbonatos. La determinación depende del pH de la solución debido a su efecto en la distribución de especies carbonates (Rivera, 2007).
3. Ambientes Geoquímicos.- Es el conjunto de factores físicos y químicos que intervienen en la abundancia, distribución y migración de los elementos en los distintos procesos geológicos internos y externos que ocurren en las distintas esferas geoquímicas de la tierra (Rivera, 2007).
4. Calidad de Agua.- La composición química del agua determina su conveniencia para el consumo humano, para su uso de las operaciones domésticas, como agua de beber para animales domésticos, para irrigación de tierras de cultivo y para muchos usos en la manufactura industrial. Cada uno de estos usos, el agua requiere de ciertos estándares que definan su calidad. La composición química es uno de los principales criterios de la calidad del agua. También se considera la demanda de oxígeno biológico, oxígeno químico, conductividad específica, dureza, alcalinidad, presencia de metales trazas dañinas y compuestos orgánicos, turbidez, temperatura y otras propiedades requeridas para usos específicos (Rivera, 2007).

5. Contaminación.- Acción de introducir sustancias perjudiciales (o cantidades excesivas de sustancias usualmente no peligrosas) al ambiente, causando impactos ambientales negativos (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
6. Degradación.- Reducción o pérdida de la calidad ambiental general o de un componente ambiental (por ejemplo, calidad del agua), (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
7. Desmonte de Mina.- Los términos "desmonte" o "roca de mina" generalmente se emplean para hacer referencia a la sobrecapa y rocas que deben extraerse para ganar acceso al mineral. La mayor parte de desmonte se produce en la explotación de minas a tajo abierto, generalmente con una proporción entre tonelaje de material estéril y tonelaje de mineral -"stripping ratio"- de 2:1 ó 3:1. Esta relación hace referencia al tonelaje de desmonte extraído por tonelada de mineral; por consiguiente, en una relación de 2:1, se extraen 2 toneladas de desmonte por cada tonelada de mineral. No obstante, cantidades menores de desmonte o escombros pueden producirse a partir del desarrollo de obras subterráneas, (Ministerio de Energía y Minas, 1996).
8. Dispersión.- Se refiere a los procesos físicos o a la habilidad de dispersar elementos a través de medios no químicos. La dispersión puede ocurrir vía procesos tales como el movimiento de cargas o

sedimentos suspendidos en corrientes de agua o por el aire (ejemplo, emisiones de fundiciones, erosión eólica), (Rivera, 2007).

9. Dispersión Geoquímica.- Es la capacidad de migración de un elemento desde su origen hacia otro ambiente a través de diferentes procesos fisicoquímicos y mecánicos. También se define como el movimiento fisicoquímico que sufren los elementos al pasar de un ambiente geoquímico a otro; esto se refiere también a los procesos de transporte y/o fraccionamiento de los elementos (Rivera, 2007).
10. Drenaje Ácido de Mina.- El flujo saliente de agua ácida de las minas metalíferas. Después de ser expuestas al aire y al agua, la oxidación de los metales sulfurosos (usualmente pirita, que es un sulfuro de hierro) dentro de las rocas que lo rodean y el desmonte, generan acidez (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
11. Efluente.- La descarga de un contaminante líquido desde una instalación o proceso industrial (también llamado desecho o residuo líquido), (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
12. Eh.- Es la medida del potencial de oxidación (pérdida de electrones de un catión o captura de electrones por un anión) o potencial de reducción (captura de electrones por un catión o pérdida de electrones de un anión). En las reacciones en que participan el H^+ y el OH^- , el potencial de oxidación disminuye al incrementar el pH, de modo tal que la oxidación es más fácil en soluciones alcalinas que en las ácidas (Rivera, 2007).

13. Estéril.- Término minero utilizado para referirse a la roca que no constituye mena explotable, en oposición a rocas mineralizadas. Usualmente se refiere a las rocas no mineralizadas o con minerales no económicos que deben ser removidas durante el proceso normal de explotación minera para extraer el mineral de mena. Este material se deposita en botaderos o desmontes (MAKSAEV, Víctor; 2001).
14. Estratoligado.- Un depósito mineral que se presenta dentro de niveles estratigráficos específicos u horizonte (estratos), pero el cual no comprende la capa (s) completa (s), (MAKSAEV, Víctor; 2001).
15. Geoquímica.- La geoquímica es el estudio de los cambios producidos en los sistemas químicos naturales representados éstos por las rocas (F. W. Clarke, 1908).
16. Geoquímica Ambiental.- Determina la distribución, concentración y migración de los metales en cualquier medio geológico, suelos, agua y aire y su impacto sobre la vida humana, animal y plantas además de su correlación con la incidencia de enfermedades en una región determinada (Rivera, 2007).
17. Geoquímica de Elementos Traza.- Es la determinación de las leyes de la distribución de los elementos traza en los minerales y en las rocas, para la clarificación de la cristalografía, problemas genéticos y para la utilización práctica de estos elementos (Rivera, 2007).

18. Impacto.- Cambio (positivo o negativo) en el ambiente natural o en el ambiente del ser humano como resultado directo o indirecto de una acción o propuesta (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
19. Medidas de mitigación.- Medidas consideradas necesarias para prevenir, reducir y, cuando es posible, remediar o compensar cualquier impacto significativo adverso sobre el ambiente (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
20. Metal pesado.- Elementos que exhiben propiedades metálicas. Se han propuesto muchas definiciones distintas - algunas basadas en la densidad, otras en el número atómico o el peso atómico y algunas en las propiedades químicas o toxicidad. El termino metal pesado ha sido denominado como una “mala interpretación” por el Sindicato Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés) debido a las definiciones contradictorias y la ausencia de una “base científica coherente”. Existe un término alternativo que es metal tóxico para el que no hay consenso en su definición (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
21. Mina Subterránea.- También conocida como mina “de profundidad”. Usualmente localizada a varios metros o pies debajo de la superficie de la tierra, el mineral es retirado mecánicamente y transferido con un medio de transporte a la superficie (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).

22. Mina Superficial.- Una mina en la que el mineral yace cerca de la superficie y puede ser extraída removiendo las capas de cubierta de roca y tierra (Environmental Law Alliance Worldwide, 2010).
23. Oxidación - reducción.- estos procesos se producen en forma simultánea, en consecuencia, todo proceso de oxidación presenta otro de reducción ligado a él y ambos se verifican contemporáneamente. Existe un orden de reducción de especies disueltas tales como: O_2 , NO_3 , SO_4^{2-} , N_2 , HCO_3^- y en aguas más reducidas son abundantes el CH_4 , el HS^- , el NH_4^+ y el H_2 . Los minerales más importantes que resultan de la reducción anaeróbica son la pirita y la marcasita, las cuales se forman a partir de sulfuros inestables precipitados por reacciones entre el sulfuro disuelto (de la reducción bacteriana de los sulfatos) y los minerales de hierro detrítico (goethita y clorita), (Rivera, 2007).
24. pH.- Es igual al logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. La actividad del ion hidrógeno de una solución es la medida de su acidez o alcalinidad en una escala que varía de 0 (acidez) hasta 14 (alcalino), siendo el valor pH 7 para las soluciones neutras (Rivera, 2007).
25. Plan de Cierre.- Medidas que debe adoptar el titular de la actividad minera antes del cierre de operaciones, para evitar efectos adversos al medio ambiente producidos por los residuos sólidos, líquidos o

gaseosos que puedan existir o puedan aflorar en el corto, mediano o largo plazo (Reglamento de la Ley de Minería, el Salvador, 1996).

26. Prospección Geoquímica.- Es el uso de las leyes geoquímicas general y regional en la prospección geológica, especialmente en la exploración de depósitos minerales y de hidrocarburos (Rivera, 2007).

27. Pruebas Estáticas.- Una prueba estática define el balance entre los minerales potencialmente generadores de ácido y aquellos potencialmente consumidores de ácido en una muestra. Los minerales que producen ácido son, por lo general, minerales sulfurosos reactivos. Los minerales que consumen ácido son principalmente carbonatos, si bien los hidróxidos, silicatos y arcillas también pueden proporcionar potencial de neutralización. En teoría, una muestra será generadora neta de ácido sólo si su potencial para la generación de ácido excede a su potencial de neutralización (Ministerio de Energía y Minas, 1996).

28. Pruebas Cinéticas.- Pruebas para determinar el comportamiento geoquímico del material a través del tiempo (Gua Manejo de Drenaje Acido de Mina - MINEM)

29. Tierras Raras.- Son elementos químicos ampliamente utilizados en los estudios petrogenéticos, por ser excelentes indicadores de los procesos geológicos que han ocurrido durante la formación de las rocas (Rivera, 2007).

2.3. MARCO LEGAL

El presente acápite contiene una descripción general de las normas y de las regulaciones vigentes a la fecha y aplicables a las actividades referentes al presente proyecto de investigación.

2.3.1. Estado Peruano

Como regla general, le corresponde a cada sector regular la gestión ambiental de las actividades que están bajo su competencia. Desde la expedición del D.L. N° 757, Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, el ordenamiento jurídico ha privilegiado en materia ambiental un sistema basado principalmente en funciones y atribuciones legales asignadas a las autoridades sectoriales.

Las atribuciones del Estado Peruano en cuanto a la determinación de la política nacional del ambiente y la promoción del uso sostenible de los recursos naturales están claramente definidas en los Artículos 66°, 67°, 68° y 69° de la Constitución

Política del Perú, los cuales establecen la importancia de la protección y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales a fin de hacer posible el desarrollo integral de la persona humana.

Por otro lado, la normatividad nacional en materia ambiental tiene sus bases en la Constitución Política cuyo Artículo 2° inciso 22 establece el derecho fundamental

2.3.2. Ministerio del Ambiente (MINAM)

El MINAM fue creado mediante el D.L. N° 1013, en mayo del 2008, el mismo que, en conjunto con el D.L. N° 1039, establece la organización y funciones del mismo.

Su función general es diseñar, establecer, ejecutar y supervisar la política nacional y sectorial ambiental, asumiendo la rectoría con respecto a ella. Tiene como objetivos la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana.

Asimismo al MINAM se adscriben los siguientes organismos públicos:

- El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
- El Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
- El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), y
- El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

El OEFA, fue creado mediante el D.L. N° 1013 y mediante la Ley N° 29325 se determinó que fuera el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

El OEFA tiene como funciones centrales la fiscalización, la supervisión, el control y la sanción en materia ambiental. Mediante la Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Ley 29325, Artículo 10°, se crea el Tribunal de Fiscalización Ambiental (TFA) para resolver en última instancia administrativa los recursos de apelación interpuestos a las sanciones impuestas por el OEFA.

2.3.3. Ministerio de Energía y Minas (MEM)

La estructura legal peruana en materia ambiental aplicable al Sector Minero-Metalúrgico se encuentra regulada directamente por el MEM, según lo establecido en el artículo 4° del Reglamento para Protección Ambiental en la Actividad Minero

Metalúrgica, aprobado mediante el D.S. N° 016-1993-EM. De acuerdo con este reglamento, el MEM es la única entidad gubernamental responsable en la determinación de las políticas de protección ambiental y aprobación de las disposiciones legales normativas relacionadas con las actividades mineras y metalúrgicas en el Perú.

Para cumplir con sus fines en el subsector de minería, el MEM cuenta con los siguientes órganos de línea:

Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM)

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros (DGAAM), es la autoridad competente para aprobar los Planes de Cierre de Minas y sus

respectivas modificaciones. Para dicho efecto podrá solicitar opinión a las diferentes entidades del Estado que de acuerdo a las normas vigentes, ejercen funciones o atribuciones de relevancia ambiental que pueden tener relación con el cierre de minas.

Asimismo, además de ser la oficina que aprueba los procedimientos de evaluación ambiental, conforme al Artículo 2º inciso 2.2 del D.S. N° 028-2008-EM, Reglamento de Participación Ciudadana en el Subsector Minero, el MEM a través de la DGAAM, debe orientar, dirigir y llevar a cabo procesos de participación ciudadana relacionados con las actividades mineras de la mediana y gran minería.

Dirección General de Minería (DGM)

Propone y evalúa la política del sector minería; propone y/o expide, según sea el caso, la normatividad necesaria; y promueve el desarrollo sostenible de las actividades de exploración y explotación, labor general, beneficio, comercialización y transporte minero. Entre las principales funciones de este órgano se encuentran las siguientes:

- Proponer la política del sector minería en concordancia con las políticas de desarrollo sectorial.
- Formular y proponer las normas técnicas y legales relacionadas con el sector minero, promoviendo su desarrollo sostenible y la tecnificación.

- La DGM recibe una copia del PCM para que dentro del plazo de treinta (30) días hábiles, emita su informe de evaluación de los aspectos económicos y financieros del Plan de Cierre de Minas.

2.3.4. DS-040-2014-EM

El presente reglamento tiene por finalidad asegurar que las actividades mineras en el territorio nacional, se realicen salvaguardando el derecho constitucional a disfrutar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida, en el marco de la libre iniciativa privada y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

El presente reglamento tiene por objetivo regular la protección y gestión ambiental de las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero.

Este reglamento es aplicable al ámbito de la mediana y gran minería, a las personas naturales y jurídicas que proyecten ejecutar o ejecuten actividades mineras de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero en el territorio nacional, comprendiendo asimismo, las actividades auxiliares que se ejecuten de manera complementaria.

También es aplicable supletoriamente a las demás actividades mineras, distintas a las señaladas en el párrafo anterior.

Este reglamento no es aplicable a las actividades de las pequeñas minerías y minería artesal que se rige por la normatividad específica, salvo en los aspectos

que no se encuentren contemplados en dicha regulación, en cuyo caso la presente norma se especificará de manera supletoria.

2.4. MARCO LEGAL AMBIENTAL

Ley General del Ambiente

La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, modificada mediante el D.L. N° 1055, establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y contribución a la protección del ambiente, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Para tal efecto establece como instrumentos, entre otros:

Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA): Contienen una descripción de la actividad propuesta y de los efectos directos o indirectos previsibles de dicha actividad en el medio ambiente físico y social, a corto y largo plazo, así como la evaluación técnica de los mismos. Deben indicar las medidas necesarias para evitar o reducir el daño a niveles tolerables e incluirá un breve resumen del estudio para efectos de su publicidad. La ley de la materia señala los demás requisitos que deben contener los EIA (Art. 25°).

Los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA): Tienen como objetivo facilitar la adecuación de una actividad económica a obligaciones

ambientales nuevas, debiendo asegurar su debido cumplimiento en plazos que establezcan las respectivas normas, a través de objetivos de desempeño ambiental explícitos, metas y un cronograma de avance de cumplimiento, así como las medidas de prevención, control, mitigación, recuperación y eventual compensación que corresponda (Art. 26°).

Los Planes de Cierre de Actividades: Mediante éstos los titulares de todas las actividades económicas garantizan que al cierre de las actividades o instalaciones no subsistirán impactos ambientales negativos de carácter significativo, debiendo considerar tal aspecto al diseñar y aplicar los instrumentos de gestión ambiental que les correspondan de conformidad con el marco legal vigente (Art. 27°).

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA's): Son medidas que establecen el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas, ni al ambiente (Art.31).

Los Límites Máximos Permisibles (LMPs): Son medidas de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente (Art.32).

También establece las normas básicas acerca de la organización del estado referente a aspectos ambientales, las responsabilidades de la población y empresas, la participación ciudadana, aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica, calidad ambiental, el rol de la ciencia, tecnología y educación ambiental, fiscalización y control y sanciones.

2.4.1. Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto

Ambiental

La Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, Ley N° 27446, y su modificación D.L. N° 1078, establecen:

- La Creación del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.
- El establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos de inversión.

- El establecimiento de mecanismos que aseguren la participación ciudadana en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

El ámbito de aplicación de la presente Ley son todos los proyectos de inversión públicos y privados que impliquen actividades, construcciones u obras que pueden causar impactos ambientales negativos.

El Reglamento de la Ley N° 27446, el D.S. N°019-2009-MINAM (del 25/9/2009), indica que las Autoridades Competentes deben elaborar o actualizar sus normas relativas a la evaluación de impacto ambiental en coordinación con el MINAM de conformidad con el referido Reglamento dentro de un plazo de 180 días calendarios; en tanto no se aprueben o actualicen los reglamentos de las Autoridades Competentes en materia de evaluación de impacto ambiental, se aplicarán las normas sectoriales, regionales y locales que se encuentren vigentes y las disposiciones del Reglamento aprobadas por el mismo.

2.4.2. Reglamento sobre Protección Ambiental

El Reglamento para Protección Ambiental en la Actividad Minero Metalúrgica, aprobado mediante D.S. N° 016-1993-EM y sus normas modificatorias, establece las acciones de previsión y control que deben realizarse para armonizar el desarrollo de las actividades minero-metalúrgicas con la protección del medio ambiente, proteger el medio ambiente de los riesgos resultantes de los agentes nocivos que pudiera generar la actividad minera

metalúrgica, evitando sobrepasen los niveles máximos permisibles y fomenta el empleo de nuevas técnicas y procesos relacionados con el mejoramiento del medio ambiente.

2.4.3. Ley de Cierre de Minas

La Ley de Cierre de Minas, Ley N° 28090, modificada mediante la Ley N° 28507, y su Reglamento (D.S. N° 033-2005-EM) y Anexo, y las modificaciones de ésta mediante los Decretos Supremos N° 035-2006 y N° 045-2006-EM.

Mediante la Ley de Cierre de Minas y su Reglamento se estableció la obligación y el procedimiento de aprobación de Plan de Cierre de Minas que deben presentar los titulares mineros al MEM a fin de prevenir, atenuar y remediar los impactos ambientales antes del término de sus operaciones y con posterioridad a estas.

Plan de Cierre de Minas

El Plan de Cierre fue creado como un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales de protección ambiental. La Ley establece que el Plan de Cierre debe realizarse en forma progresiva durante la vida útil de la operación minera, efectuando al final un cierre definitivo y medidas de post cierre para asegurar la estabilidad física y química del área rehabilitada, en el largo plazo. Este instrumento debe ser revisado para su actualización cada cinco años, pudiendo ser modificado en caso que se produzcan cambios significativos. Con la finalidad de acreditar el cumplimiento

de las obligaciones contenidas en el Plan de Cierre, el MEM entregará el Certificado de Cierre Progresivo o Final, según corresponda.

El Reglamento establece que el Plan de Cierre de Minas es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales, que deben ser efectuadas por el titular de actividad minera, a fin de rehabilitar las áreas utilizadas o perturbadas por la actividad minera, para que éstas alcancen características de ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la conservación del paisaje. El contenido y estructura del Plan de Cierre está regulado en el Anexo 1 del Reglamento mencionado, así como por la Guía para elaborar y revisión de Planes de Cierre de Minas, aprobada mediante Resolución Directoral N° 130-2006-EM.

El plazo del procedimiento de aprobación del Plan de Cierre de Minas está regulado por el Reglamento de la Ley N° 28090, ley que regula el Cierre de Minas y recogido por el Texto Único de Procedimientos Administrativos (TUPA) del MEM vigente (2014). En tal virtud, los PCM's serán evaluados por la DGAAM dentro del plazo máximo de ciento treinta (130) días calendario desde su presentación. De existir observaciones en el PCM, la DGAAM notificará por escrito al titular de la actividad para que en un plazo determinado presente su descargo a las observaciones planteadas. Si vencido el plazo legal de 130 días la DGAAM no emite Resolución para poner término al procedimiento, se podrá ampliar el plazo hasta por treinta (30) días

hábiles adicionales. La no expedición de dicha Resolución en el plazo máximo antes indicado dará lugar a la aplicación del silencio administrativo negativo.

2.4.4. Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad

Minera

La Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera, Ley N° 28271, su modificación, Ley N° 28526, tiene por objeto regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la población, al ecosistema circundante y la propiedad. Su Reglamento es aprobado mediante el D.S. N° 059-2005-EM, el cual se complementa con el D.S. N° 013-2008-EM (Disposiciones para el aprovechamiento de residuos de los Proyectos de Cierre o Remediación Ambiental a cargo de la empresa del Estado Activos Mineros S.A.C.) y la R.M. N° 164-2008-EM (el estado asume la remediación de diversos pasivos ambientales mineros calificados de alto riesgo), el D.L. N° 1042 que modifica los Artículos 5, 9, 10, 11 y 12 de la Ley N° 28271 con el objetivo de consolidar las obligaciones de los responsables de la generación de los pasivos ambientales y permitir la reutilización de los mismos y, finalmente, el D.S. N° 003-2009-EM el cual modifica los Artículos 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 31, 35,

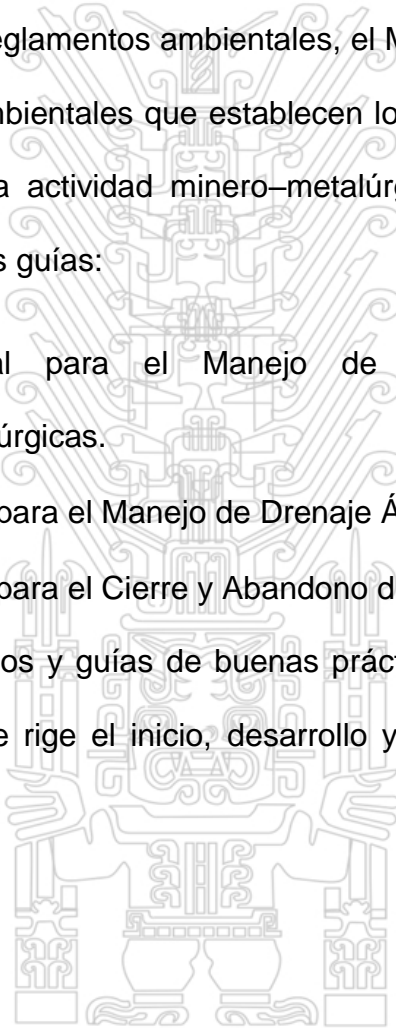
36, 37, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 53, y 54, además de incorporar nuevos artículos y derogar otros del D.S. N° 059-2005-EM y del D.S. N° 013-2008-EM.

2.4.5. Guías Ambientales

Adicionalmente a los reglamentos ambientales, el MEM ha venido publicando una serie de Guías Ambientales que establecen los lineamientos aceptables de sostenibilidad en la actividad minero-metalúrgica. Entre otras, se han aprobado las siguientes guías:

- Guía Ambiental para el Manejo de Agua en Operaciones Minero – Metalúrgicas.
- Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas.
- Guía Ambiental para el Cierre y Abandono de Minas.

Estas leyes, reglamentos y guías de buenas prácticas, conforman el marco ambiental principal que rige el inicio, desarrollo y cierre de las actividades mineras.



3. CAPITULO III: MATERIALES EQUIPOS Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS DE CAMPO

- Plano topográfico general de la UM San Rafael

Nos permitirá tener una visión general de la Unidad, podremos ubicarnos y organizarnos en la identificación de las zonas donde se depositan desmontes.

- Planos Geológicos

Nos permitirá conocer la mineralogía de la zona de estudio, dándonos una referencia de que están compuestos los depósitos de desmorte.

- Planos de los depósitos de desmorte identificados en la UM San Rafael.

Los planos de los depósitos de desmorte nos permitirán conocer el área que abarcan los depósitos de desmorte, para poder determinar las zonas de muestreo.

- Información de la Mineralogía de la zona de estudio

La información mineralógica de la zona nos dará una idea de los componentes químicos de los depósitos de desmorte.

- GPS Navegador

Se utilizara para ubicar las coordenadas de los puntos de muestreo en los depósitos de desmonte

- Pala de muestro

Herramienta utilizada para la toma de muestras, para su posterior análisis.

- Picota

Se utilizara para fragmentar la roca en diámetros que puedan ser manejables para el análisis.

- Picos

Utilizados para la realización de calicatas para la toma de muestras.

- Bolsas de Polietileno, para la toma de muestras

Las muestras serán recolectadas en las bolas de polietileno para su envío al laboratorio químico para su análisis.

- Equipos de Protección Personal

Equipos de seguridad utilizados para garantizar el bienestar de la persona en el desarrollo de cualquier actividad que demande un esfuerzo físico.

- Cámara Digital Marca Canon

Nos permitirá tener imágenes de la situación actual de los depósitos de desmonte de la Unidad

- Computadora Marca Toshiba
- Movilidad de Transporte (Camioneta)

3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de Investigación

En el presente estudio de investigación se utilizó para lograr de los objetivos propuestos mencionado líneas arriba es de carácter descriptivo, aplicado, explicativo y correlacional.

Descriptivo: Con los resultados obtenidos podremos describir la situación actual en la que se encuentran los depósitos de desmonte de la UM San Rafael. Con esta metodología no solo nos limitaremos a conocer la situación actual de los depósitos de desmonte si no podremos predecir los impactos ambientales que se podrían generar a largo plazo.

Aplicado: Se desarrollara la aplicación de conocimientos, análisis con el objetivo de obtener resultados que ayuden al desarrollo de la investigación.

Explicativa: La investigación explicativa estará orientada a la comprobación de la hipótesis planteada, basándose una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación de los resultados obtenidos.

Correlacional: Nos permitirá ver la influencia de cada una de las variables dependientes e independientes en la generación de drenaje ácido de roca. Logrando identificar la importancia de cada uno de ellos.

3.2.2. Método y Diseño de la Investigación

En el presente estudio de investigación se empleó el método cuantitativo y cualitativo, también el método que se utiliza es el método de análisis – síntesis, esto para relacionar las causas y efectos en lo referido a los puntos de alteración o de generación de ácidos de los depósitos de desmonte de la UM San Rafael.

El diseño de la investigación es descriptivo simple, ya que en la investigación se realizara una descripción de los procesos tal y como se encuentren en campo.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

En la presente investigación se ha considerado como población a la **Unidad Minera San Rafael**, que se encuentra ubicada a unos 181 kilómetros de la ciudad de Juliaca, en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, región Puno;

a una altitud que varía entre los 4 500 y 5 200 msnm, en la Cordillera Oriental de los Andes del Perú.

Población(N) Unidad Minera San Rafael

3.3.2. Muestra

La selección de la muestra en la presente investigación se realizó de manera probabilístico (aleatorio), ya que todos los elementos tienen la misma posibilidad de análisis. Para ser más eficiente en la obtención de la muestra y tener un resultado más real se realizó la toma de muestras tomando en consideración el año en el que se ha extraído el mineral de interior mina ya que dependiendo del nivel de donde se extrajo la muestra se puede tener una referencia de su mineralización. En base a esto se obtuvieron las 41 muestras de desmonte.

3.4. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.

3.4.1. Técnicas de recolección de datos.

Observación

La técnica de la Observación al material de desmonte implicó conciencia en el evaluador de manera racional lo cual permitió identificar el problema, buscar las causas y efectos del problema planteado.

Entrevistas

El uso de esta técnica permitió obtener datos para el desarrollo de esta investigación, las entrevistas fueron con los responsables de las áreas involucradas (mina, proyecto y medio ambiente) por lo que su participación fue informada y consentida. Esta entrevista fue estructurada por lo que se tomó en consideración el plan de manejo de los materiales de desmonte que se encuentra tipificado en el EIA,

Encuesta

En esta Técnica se buscó conocer a través de preguntas la respuesta de los supervisores de las áreas responsables involucradas (mina, proyecto y medio ambiente) en el manejo integro de los depósitos de desmonte.

3.4.2. Instrumentos de recolección.

Para la recolección de los datos adherentes al tema de investigación se requirieron los siguientes instrumentos.

- Reportes de mina respecto a las cantidades ingresadas a los depósitos de desmonte.
- Informes de los análisis de las muestras, realizada por consultores externos.
- Registros fotográficos.
- Ficha de control y registro de datos.

- Lista de verificación

3.5. FASES DE RECOLECCIÓN

Fase de Pre Campo

En esta fase se basa en la recopilación de la información necesaria para el desarrollo de la tesis.

Fase Campo

La etapa de campo nos permitirá identificar las zonas de la UM San Rafael donde se depositan desmontes. A demás con simple observación se podrán identificar qué tipo de materiales han sido dispuestos en las diferentes desmonteras de la Unidad.

En esta etapa también se desarrollara el muestreo de los depósitos de desmonte con el objetivo de luego ser analizados en un laboratorio.

Fase de Gabinete

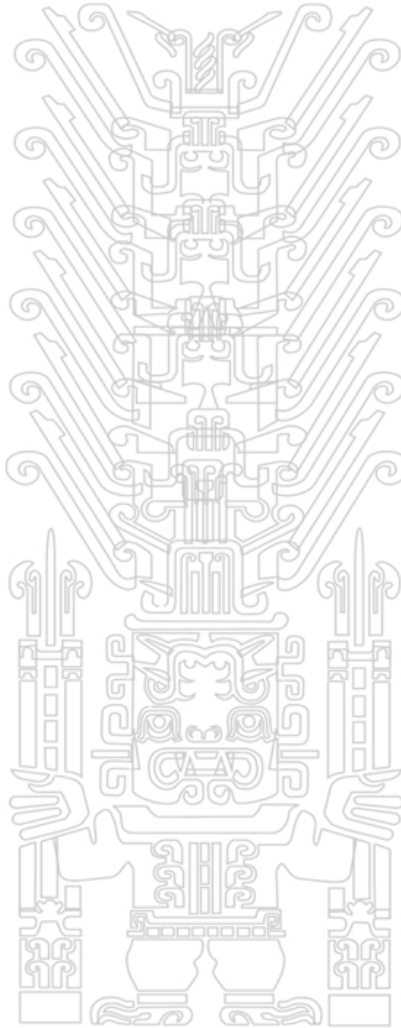
Esta fase se divide en dos;

- Análisis de las muestras

Todas las muestras recolectadas serán analizadas en un laboratorio debidamente acreditado. El análisis se basara en pruebas geoquímicas con el objetivo de determinar si las muestras son o no potenciales generadores de acidez.

➤ Procesamiento de la Información

Esta etapa consiste en la integración de toda la información recolectada en campo y los resultados de los análisis de laboratorio, con el objetivo de establecer relaciones que nos ayuden a responder las interrogantes planteadas en la tesis.



4. CAPITULO IV: CARACTERISTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

La unidad minera "Nueva Acumulación Quenamari - San Rafael", se ubica en una zona con elevaciones que van desde los 4,500 hasta los 5,200 msnm, en la cordillera oriental de los andes del Perú, políticamente se ubica entre los distritos de Potoni, Macusani, Ajoyani y Antauta, provincias de Azángaro, Carabaya y Melgar, departamento de Puno. El acceso a la unidad minera por vía terrestre comprende una longitud aproximada de 1,460 km, utilizando la ruta Lima - Arequipa - Juliaca, desde donde se extienden tres rutas alternativas:

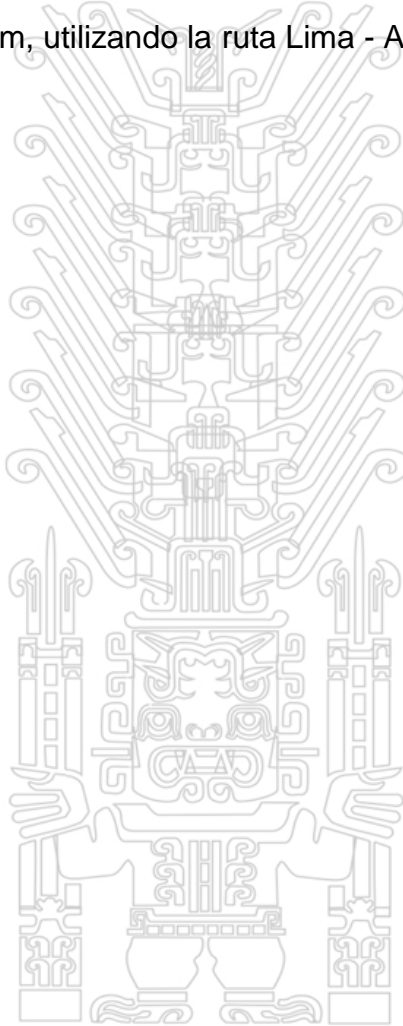
- Pucará - Asillo - San Rafael;
- Azángaro - San Rafael; y
- Juliaca - Ayaviri - Santa Rosa - Nuñoa - San Rafael.

Así también, se puede acceder a la unidad minera por vía aérea directamente hasta el aeródromo de la mina o hasta el aeropuerto de Juliaca, para luego continuar vía terrestre por las rutas anteriormente indicadas.

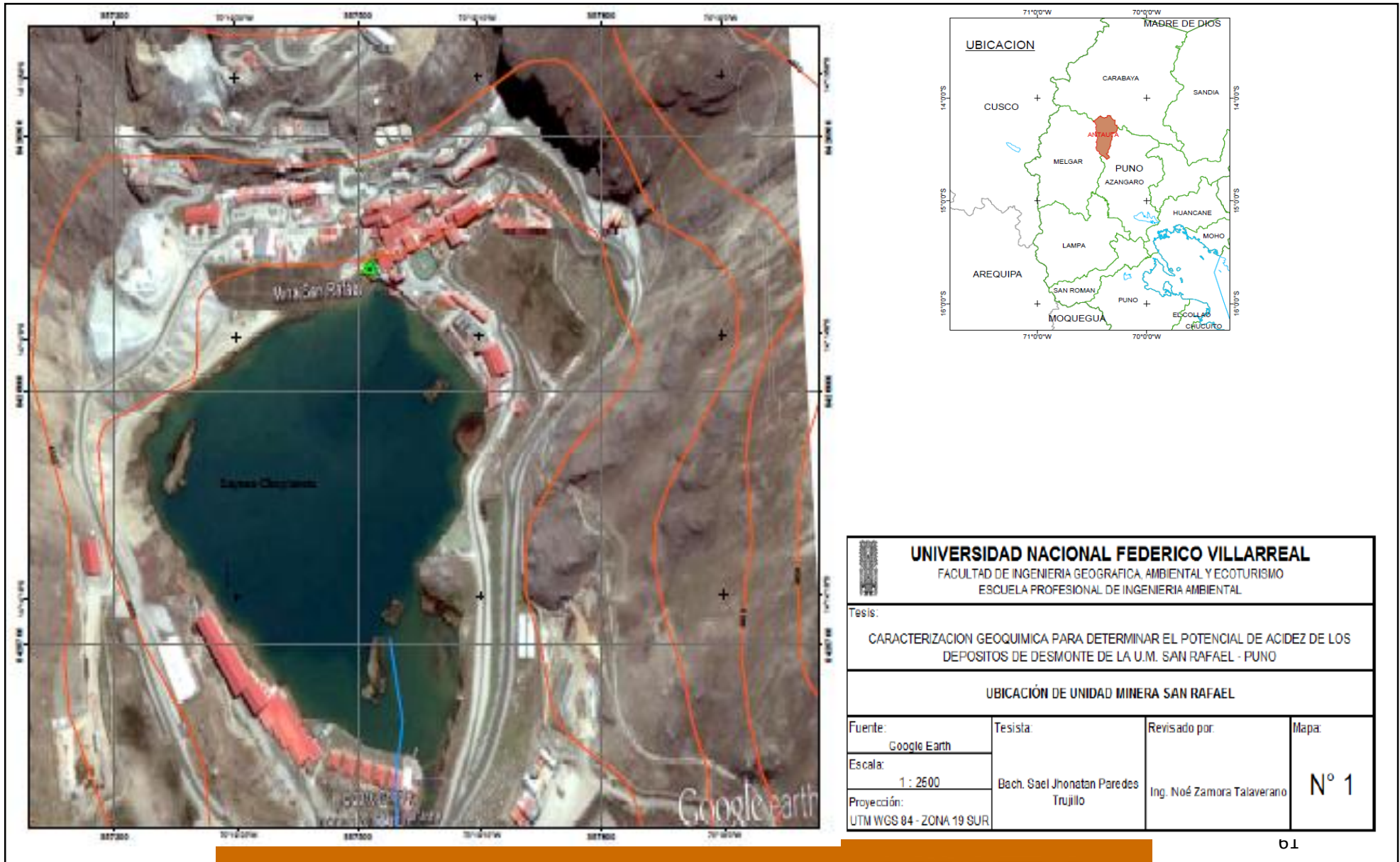
Así mismo se presenta Delimitación del Proyecto con referencia a la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Presa de Relaves Bofedal III para la Construcción del Depósito de Desmonte Larancota".

La UM San Rafael se encuentra ubicada en el paraje Quenamari, distrito de Antauta, provincia de Melgar, región Puno, con coordenadas UTM 357 730 E y 8 426 570 N (WGS84).

El acceso a la unidad minera por vía terrestre comprende una longitud aproximada de 1 460 km, utilizando la ruta Lima - Arequipa – Juliaca.



Mapa N° 1: Ubicación Unidad Minera San Rafael



4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

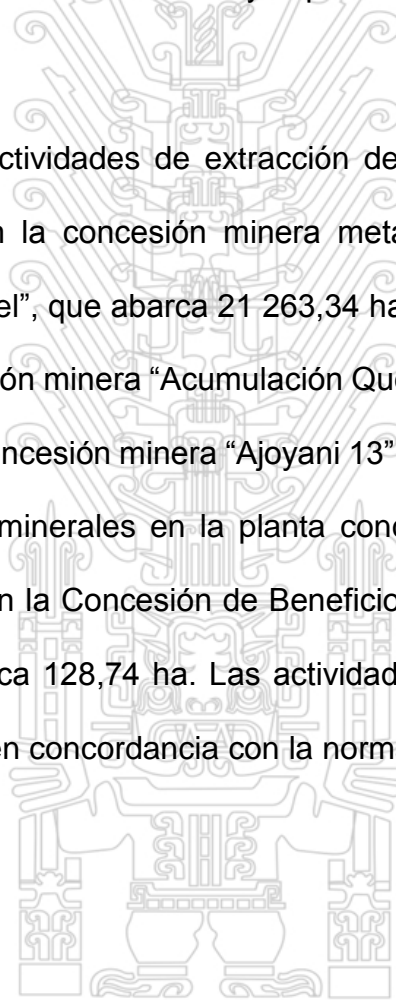
Las actividades mineras en la UM San Rafael consisten en la extracción de minerales de estaño mediante actividades de explotación minera subterránea, y en su posterior beneficio en una planta concentradora mediante procesos de flotación y concentración gravimétrica, para obtener concentrados de estaño como producto final. En la actualidad la capacidad de la planta concentradora es de 2 700 toneladas por día (t/d), en donde se procesan minerales con una ley promedio de 3,3% de estaño.

Las actividades Mineras en UM San Rafael se remontan a 1951, cuando las operaciones estuvieron a cargo de la empresa “Lampa Minas”. En 1966, “Minsur Sociedad Limitada” toma las riendas de la empresa, y orienta su principal actividad a la explotación de cobre. En 1977 dicha empresa se constituye como la actual Minsur S.A., instalando una planta de beneficio de cobre y estaño. En la actualidad Minsur ha direccionado su actividad (explotación y beneficio) solamente hacia minerales de estaño.

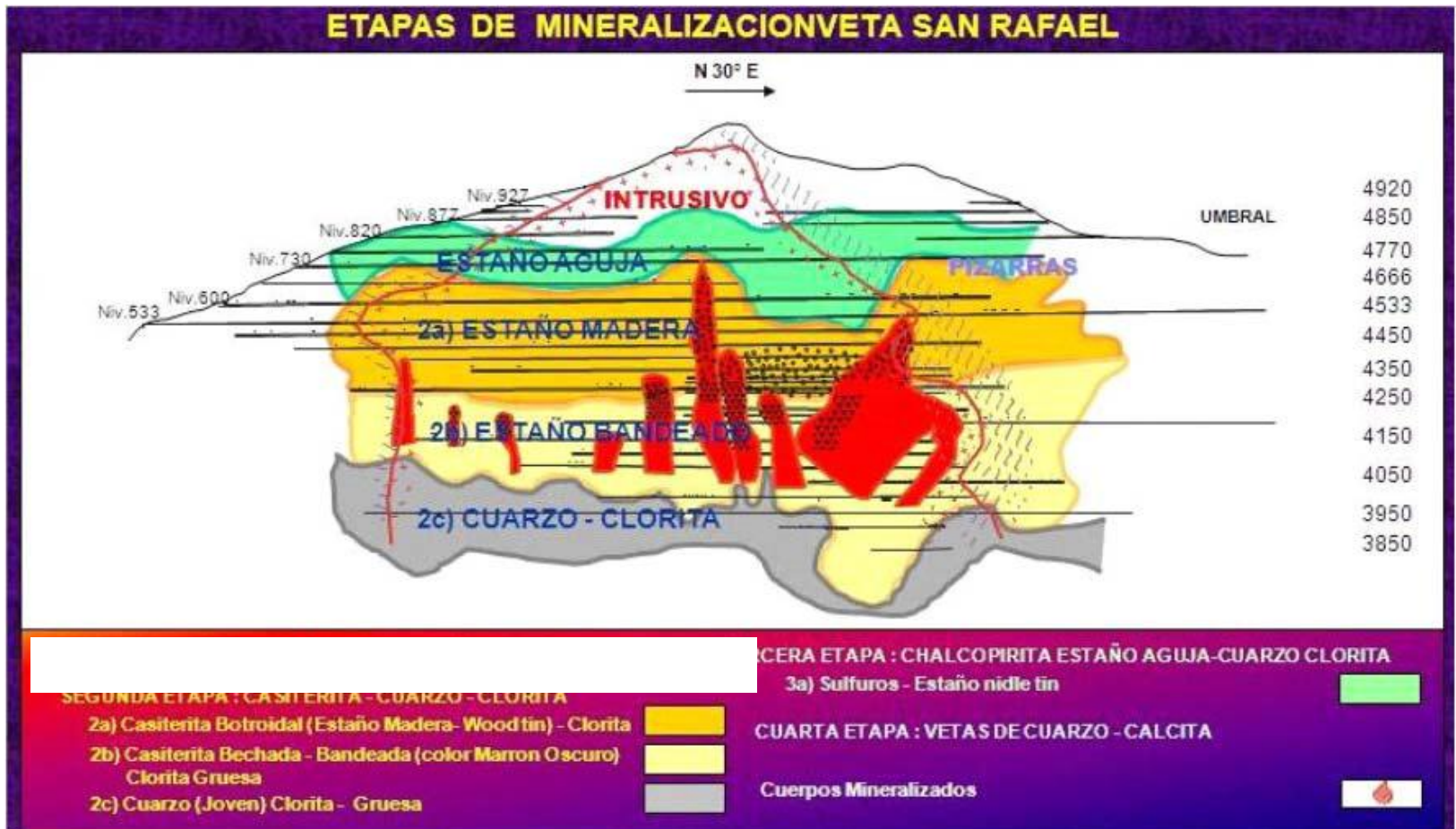
Las actividades en la UM San Rafael han evolucionado de acuerdo al reconocimiento geológico progresivo y al avance de la tecnología, habiéndose a la fecha mecanizado las operaciones mineras, implementado nuevos métodos de minado y optimizado los procesos en la planta concentradora; lo que ha permitido el incremento progresivo de la producción y la mejora permanente en la productividad.

Este proceso evolutivo ha necesitado de la habilitación, instalación e implementación de una serie de componentes mineros, tales como: depósitos de relaves, **botaderos de desmonte**, vías de acceso, instalaciones de tratamiento, campamentos, almacenes, entre otros; los cuales hoy conforman, conjuntamente con la mina subterránea y la planta concentradora, la UM San Rafael.

En la actualidad las actividades de extracción de minerales en la UM San Rafael, se realizan en la concesión minera metálica “Nueva Acumulación Quenamari - San Rafael”, que abarca 21 263,34 ha, y está conformada por el área total de la concesión minera “Acumulación Quenamari -San Rafael” y por un área parcial de la concesión minera “Ajoyani 13”. Asimismo, las actividades de procesamiento de minerales en la planta concentradora e instalaciones conexas, se realizan en la Concesión de Beneficio “Planta de Concentración San Rafael”, que abarca 128,74 ha. Las actividades mineras en la UM San Rafael se desarrollan en concordancia con la normatividad ambiental.



Grafica Nº 1: Etapas de Mineralización Interior mina UM San Rafael



Fuente: Segunda Modificación Plan de Cierre de Mina

4.3. GEOMORFOLOGÍA

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012 por la empresa Golder, en el área de la unidad minera San Rafael se ha identificado unidades geomorfológicas de relieve cordillerano, laderas cordilleranas y lomadas, que a continuación se describen:

Relieve cordillerano

Esta unidad corresponde a la cabecera de la quebrada Chogñacota, por encima de la cota 5,000 msnm, donde se ubican los nevados San Francisco (5,294 msnm) y San Bartolomé (5 225 msnm), presentan laderas con fuertes pendientes del orden de 45° a

75°, con relieve topográfico muy accidentado, cuyo resultado es producto del modelado por la acción glacial sobre las rocas, observándose escarpes casi verticales en los flancos de los picos y crestas que conforman las líneas de cumbres de los cerros, se presentan importantes afloramientos de rocas del Paleozoico como las pizarras de la formación Ananea, y coluvios a manera de depósitos de pie de talud o escombros de ladera y escasa vegetación.

Cabe mencionar que el relieve actual en el área, está afectada principalmente por erosiones hídricas, producto de la escorrentía superficial proveniente del deshielo de los nevados y lluvias y/o nevadas que ocurren en el área.

4.3.1. Laderas Cordilleranas

Las laderas cordilleranas corresponden a las áreas que bordean a la unidad de relieve cordillerano, se encuentran entre las cotas de 5,000 msnm a 4,680 msnm, presentan pendientes del orden de 30° a 45°, con relieves topográficos moderadamente accidentado, con regular afloramientos rocosos y coluvios a manera de depósitos de talud de escombros y conos de escombros de ladera, se observa áreas muy disectadas por drenaje hídrico mayormente dendrítico a subparalelo, presentando algunas quebradas profundas.

En el sector inferior al nevado San Bartolomé se ubica la laguna Suytocochoa, generada a consecuencia de la existencia de umbrales que devienen del control estructural de la roca que aflora en el área, y procesos de erosión glacial. Esta laguna es alimentada por una microcuenca ubicada en la geoforma de un circo glacial formado por la acción del hielo sobre las rocas. En los terrenos de esta unidad la escorrentía superficial es el agente de erosión principal, actuando como erosión en cárcavas y erosión hídrica laminar de suelos, y como consecuencia de ello en algunos sectores de corte de accesos se han generado pequeños derrumbes de escombros por saturación de suelos, y en menor magnitud se han observado sectores con riesgo de caída de rocas.

4.3.2. Lomas

Esta unidad corresponde a las áreas de cerros que presentan cumbres redondeadas y bordes alargados y moderadamente convexos, en el área de estudio sus pendientes están en el orden de 5° a 30°, y se encuentra hacia el sector sur de la unidad de laderas cordilleranas, a partir de la cota 4 680 msnm desde la laguna Chagñacota hacia aguas abajo, abarcando los terrenos de los cerros y flancos de la quebrada Chagñacota. Estas geoformas son el producto de la acción glacial, son terrenos que han sufrido una intensa erosión y remoción de masas, constituyendo depósitos glaciofluviales y/o morrenas, marcan un cambio de relieve moderado a suave con respecto a la unidad de laderas cordilleranas.

En esta unidad la escorrentía superficial producto de lluvias intensas y poca vegetación, origina en los flancos del valle erosión por cárcavas y erosión hídrica laminar de suelos, originando algunos derrumbes de poca magnitud en los cortes de los accesos ubicados en la parte baja de las laderas de la quebrada Chagñacota en el sector de la relaveras.

Cabe mencionar la existencia de zonas de bofedales en las tres unidades geomorfológicas identificadas. Estos se han desarrollado en terrenos de poca pendiente y principalmente en las partes bajas o fondos de quebradas y/o valles, producto de la saturación de suelos y generación de suelos orgánicos.

4.3.3. Precipitación

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012 por la empresa Golder, debido a que el área de estudio no cuenta con registros de precipitación de periodo largo, se procedió a analizar datos consistentes de precipitación total anual y altitud, latitud y longitud de cada estación, determinando que no existe una buena asociación entre la precipitación versus la altitud, latitud y longitud, razón por la cual se determina el coeficiente de extrapolación entre la precipitación total anual del observatorio más cercana al área del proyecto (Estación Macusani) y la estación que se ubica a una altitud similar al área de estudio (Estación Ananea). En la Tabla N° 5 se presenta la precipitación total mensual generada para la unidad minera San Rafael.



Tabla Nº 1: Precipitación Estimada para la Unidad Minera San Rafael

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	TotalAnual (mm)
1980	132.2	96.4	102.5	21.9	27	0	1.7	10.6	37.4	62	43.5	83.4	618.8
1981	190.3	117.8	185.7	25.9	10.3	4.2	0	26.5	47.4	74.6	80	124.1	886.8
1982	194.2	77.4	117.2	94.6	2.9	5.6	0	15.3	41	56.7	84.6	85.3	774.8
1983	83.8	113.8	50	69.5	17.2	26.9	0	0	15.1	22.8	19.9	78.3	497.2
1984	161.6	164.6	141.6	29.6	0	0	11	44	7.1	61	126.2	123.6	870.3
1985	148.8	116.1	111.2	99.7	12.3	41.6	6.4	6	47.9	62.3	119	120.4	891.7
1986	134.4	131.2	155.3	68.5	18.4	0	5.2	16.5	64.1	40.9	60.5	130.1	825
1987	160.8	51.5	103.7	42.7	13.4	9.1	36.5	4.9	15	49.1	122	128.5	737.1
1988	115.1	95.8	117.7	78.4	24.7	0	0	0	5.7	23.4	31	83.5	575.2
1989	107.4	60.3	138.8	26.7	32	0	0	42.3	29.7	49.4	49	97	632.7
1990	170.8	84.2	23.4	47.6	8.5	50.7	3.3	25	8.3	77.8	72.1	121.9	693.6
1991	101.8	68.5	80	61.4	26.5	32	0	0	27.1	36.1	52.1	53.6	539.2
1992	76.3	91.9	85.3	43.8	0	14.4	0	30.6	8.5	35.6	71.2	85.5	543.1
1993	129.6	85.4	102.3	62.6	27	1.5	8.8	32.4	7.9	42.6	72.5	103.1	675.9
1994	153.2	192.2	116.7	78	0	4	0	14.2	7.4	24.2	40	95.1	725.1
1995	82.1	86.3	131.1	53.1	9.4	0	5.3	0	8.6	14.7	41.4	80.1	512.1
1996	134.9	100.6	57.3	29.2	19.4	0	0.5	32	17.3	28.5	63.8	23.8	507.3
1997	147.6	102	104.4	38.7	9.3	0	1.4	14.7	18.5	23.9	49.6	112.5	622.6
1998	77.9	104.2	78.2	35.7	0.5	6.3	0	0.5	9.1	47.1	66.4	50.2	476.2
1999	139.7	106	105.7	47.6	12.9	1.4	3	1.5	41.5	42.5	55.8	68.9	626.5
2000	95.1	99.8	97.3	24.2	7.2	18.5	4.2	13	20.8	76.5	26.6	114.8	598
2001	135.6	47.1	88.2	50.9	63.9	0.5	13.5	13.9	12.1	51.2	65	61	602.9
2002	67.2	128.2	110.1	43.2	10.3	0.5	27.8	20.1	40.3	49.8	117.6	75.9	691
2003	188.5	72.8	116.3	53.4	3	9.6	0	19.8	13.4	80.9	44	87.1	688.8
2004	241.1	129.4	81	40.6	11.9	21.8	6.1	11.6	31.8	46.7	61.4	85.5	769.1
2005	81.2	156	57.1	18.1	1.1	0.2	0	14.3	8.1	53	64.3	151.1	604.4
2006	168.3	84.6	62.5	63.9	2.9	5.5	0	21.2	29.8	72.7	70.6	100.1	682.3
2007	115.9	80.8	98.9	34.3	16.6	0	10	0	15	40.5	62.2	91.4	565.6
2008	171.6	64	61.5	41.4	25.2	2.9	1.8	7.9	7.2	49.3	57.1	136.4	626.3
2009	137.8	81.5	65	53.7	18	0	0	0	16.9	27.3	127.8	100.5	628.6
2010	117.7	96.9	105.3	23.1	14.7	0	6.1	0	2.4	39.2	41.2	95.1	541.8

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael - 2012

De la Tabla se observa que el área de estudio, característico en los Andes, presenta una precipitación estacional, con los valores más altos registrados entre octubre y abril (durante la temporada de lluvias), y los valores más bajos registrados entre mayo y setiembre (durante la temporada seca).

4.3.4. Temperatura

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012, en la estación meteorológica San Rafael, se han registrado las temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales desde el año 1999 hasta el 2011. En la Tabla N° 6 se presentan los resultados registrados.

Tabla N° 2: Temperatura Mensual - Estación San Rafael (1999-2011)

Mes	Temperatura Media Mensual °C	Temperatura Mínima Media Mensual °C	Temperatura Máxima Media Mensual °C
Ene	9.6	-0.3	19.5
Feb	9.2	-0.4	18.9
Mar	9	-0.5	18.4
Abr	8	-1.6	17.6
May	5.3	-4.4	14.9
Jun	4.2	-6.4	14.8
Jul	4.1	-6.6	14.9
Ago	4.7	-5.7	15.1
Sep	6.8	-4.3	17.8
Mes	Te	Tem	Tem
Oct	8.3	-2.3	19
Nov	9.7	-1.3	20.7
Dic	9.5	-0.4	19.4

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael

Del análisis mensual se determinó, lo siguiente:

- La temperatura media mensual muestra pequeñas variaciones en el año, presentando el valor más bajo y alto en los meses de julio y noviembre, respectivamente;
- La temperatura mínima media mensual presenta el valor más bajo en el mes de julio, mientras, el valor más alto en el mes de enero;
- La temperatura máxima media mensual presenta el valor más bajo y alto en los meses de julio y noviembre, respectivamente;

- La temperatura media mensual varía entre 4.1 °C y 9.7 °C, y el promedio mensual es de 7.0 °C;
- La temperatura mínima media mensual, fluctúa entre -6.6 °C y -0.3 °C, y el promedio mensual es de -2.9 °C;
- La temperatura máxima media mensual oscila entre 14.8 °C y 20.7 °C, el promedio mensual es de 17.6° C.

4.3.5. Humedad Relativa (%)

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012, para la evaluación de la humedad relativa en el área de la UM San Rafael, se analizó la información histórica registrada en la estación meteorológica San Rafael durante el período 2008-2011. En la Tabla N° 7 se presenta los registros de humedad relativa promedio mensual en la estación San Rafael.

Tabla N° 3: Humedad Relativa Promedio Mensual - Estación San Rafael

Mes	Humedad Relativa (%)
Ene	81.1
Feb	83
Mar	81.4
Abr	67.5
May	58.4
Jun	46.2
Jul	49.5
Ago	52.6
Sep	63.4
Oct	69.1
Nov	70.6
Dic	79.1

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael

En la Tabla N° 8 se presenta los registros de humedad relativa anual mensual en la estación San Rafael.

Tabla Nº 4: Humedad Relativa Promedio Anual - Estación San Rafael

Año	Humedad Relativa (%)
2008	56.2
2009	64.4
2010	65.8
2011	73.4

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael

El régimen de humedad relativa tiene un comportamiento estacional, disminuyendo los meses de estiaje (mayo-setiembre), y presentando los valores más altos en los meses húmedos (octubre - abril).

Del análisis mensual y anual de los resultados presentados se desprende lo siguiente:

- La humedad relativa media mensual presenta su valor más bajo en el mes de junio y su valor pico en el mes de febrero;
- La humedad relativa media mensual registrada varía entre 46.2% y 83.0%, el valor promedio es 66.8%;
- La humedad relativa media anual varía entre 56.2% y 73.4 %, el valor promedio es 64.9 %.

4.3.6. Velocidad y Dirección del Viento

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012. El análisis de la velocidad del viento considero la velocidad horaria registrada en la estación meteorológica San Rafael, durante el período 2000-2011. Asimismo, el análisis de la dirección del viento considero la información predominante mensual del viento en el período 1999-2009. Los resultados de velocidad mensual,

velocidad anual, y dirección predominante mensual del viento, se presentan en las Tablas N° 9, 10 Y 11 respectivamente.

Tabla N° 5: Velocidad Mensual del Viento - Estación San Rafael

Mes	Velocidad Media Mensual del Viento (m/s)	Velocidad Máxima Media Mensual del Viento (m/s)	Velocidad Mínima Media Mensual del Viento (m/s)
Ene	3	10.7	0
Feb	2.8	8.9	0
Mar	4.5	19.8	0
Abr	4.2	11.6	0
May	3.7	8.5	0
Jun	3.9	8.9	0
Jul	4.2	10.3	0.1
Ago	3.9	8.9	0
Sep	6.9	21.7	0
Oct	4.8	12.1	0
Nov	3.9	10.7	0
Dic	3.5	8.9	0

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael

Tabla N° 6: Velocidad Anual del Viento - Estación San Rafael

Mes	Velocidad Media Anual del Viento (m/s)	Velocidad Máxima Media Anual del Viento (m/s)	Velocidad Mínima Media Anual del Viento (m/s)
1999	3.1	19.8	0.3
2000	2.7	21.7	0.1
2001	1.2	2.9	0.2
2002	1.8	2.9	0.1
2003	0.1	0.2	0
2004	0.2	0.4	0
2005	3.4	6.5	0
2006	3.5	6.5	2
2007	3.6	6.7	0
2008	6.9	10.3	1.7
2009	8.8	12.1	6.7
2010	9.2	12.1	8
2011	8.8	12.1	7.2

Tabla N° 7: Dirección Predominante Mensual del Viento - Estación San Rafael

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1999	NW	NW	NNW	NW	N	NE	SW	SW	SW	SW	SW	SW
2000	SW	SW	NNW	NE	NE	NE	NE	SW	W	SW	NW	SE
2001	SE	N	SE	SE	N	N	SE	N	N	N	N	SE
2002	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SSE	SSE	SSE	SSE
2003	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SSE	SSE	SSE	SSE
2004	SSE	SSE	SE	SE	SE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE
2005	SSE	SSE	N	N	N	SSE	N	N	N	N	N	N
2006	SSE	SSE	N	N	N	SSE	N	N	N	N	N	N
2008	N	N	N	NW	NW	NNW	NW	NW	NW	SSE	SSE	SSE
2009	SSE	SSE	SSE	SSE	NW	NW	NW	NW	NW	SE	SSE	SE

Fuente: Plan de Cierre de Mina de la UM San Rafael

De los resultados presentados en las tablas precedentes, se desprende lo siguiente:

- La velocidad media mensual fluctúa entre 2.8 m/s y 6.9 m/s en la estación San Rafael; registrando los valores más altos en septiembre, el promedio de velocidad de viento se encuentra en el orden de 4.1 m/s.
- La velocidad media anual registrada en la estación San Rafael, oscila entre 0.1 m/s y 9.2 m/s, mientras la velocidad máxima media anual varía entre 0.2 m/s y 21.7 m/s; y la velocidad mínima media anual fluctúa entre 0.0 m/s y 8.0 m/s.
- Las direcciones del viento predominantes durante los diez (10) años evaluados de forma mensual son SSE y SE.

4.3.7. Hidrología

Según el estudio de Plan de Cierre de Mina del año 2012 por la empresa Golder, la principal fuente de agua en el área es el nevado San Francisco de Quenamari, cuyos deshielos se depositan naturalmente en las lagunas Estancocha, Suytocochoa, Aciruni y Yanacocha, que posteriormente originan las quebradas Vilacota, Larancota, Chogñacota, Chuquisani y Paccha. Cabe indicar que si bien las precipitaciones pluviales son estacionales, también constituyen una fuente importante de agua en la zona.

Con el fin de satisfacer la demanda de agua de la UM San Rafael, se ha construido un sistema de aprovechamiento hídrico que consiste en canales y pozas de almacenamiento de agua. Este sistema se origina por el este en la Laguna Yanacocha, donde empieza el canal Yanacocha de 5 371 m. Su trazo es paralelo a la carretera Carabaya - San Rafael, y llega hasta la quebrada Chuquisani.

Asimismo, se han construido dos diques de represamiento de aproximadamente 3 m de altura en la quebrada Chuquisani. De este punto se ha construido el canal Chuquisani, de 1 485 m de longitud, que traslada el agua a la laguna Estancococha, donde se ha construido un dique de concreto armado de 180 m de longitud y 20 m de altura, con muros laterales de concreto de 70 m y 100 m de longitud y 7m y 2,5 m de altura, respectivamente.

En la zona denominada Umbral, en el nivel 4 800 aproximadamente, también se capta y canaliza agua proveniente directamente del deshielo del nevado San Francisco de Quenamari hasta la mina Umbral. En el interior de la mina el agua circula por cunetas hasta una chimenea que las comunica con el nivel 4 730, en donde conjuntamente con el agua de la quebrada “Hospital”, se descargan en la laguna Estancococha.

Para satisfacer las necesidades de agua en la UM San Rafael, además de la laguna Estancococha, se han construido dos embalses, Suyrococha, aguas abajo de la laguna Suytochocha, y la represa Chicacocha, construida en una depresión natural.

La capacidad aproximada de las lagunas y embalses que abastecen de agua a la UM San Rafael se presentan en la Tabla N°13.

Tabla N° 8: Capacidad de Almacenamiento en Lagunas y Represas²

Embalse	Capacidad
Estancococha	946 684
Suytochocha	427 928
Yanacocha	371 063
Chicacocha	121 725
Suyrococha	42 000
Total Aproximado	1 900 400

Fuente: Elaboración Propia

² Fuente: Actualización del Plan de Cierre de La Unidad Minera San Rafael, 2012.

4.4. AMBIENTE BIOLÓGICO

4.4.1. Zonas de Vida

El área de estudio se encuentra por encima de los 4,000 msnm, en la Sierra Sur de Perú; en el Distrito Antauta, Provincia Melgar, Región Puno. Se ubica principalmente dentro de tres zonas de vida (Golder, 2012): Páramo muy húmedo – subalpino subtropical (pmh- SaS), Tundra pluvial – alpino subtropical (tp-AS) y Nivel subtropical (NS) (ONERN 1976),

Las zonas de vida mencionadas se caracterizan de la siguiente manera:

- Páramo muy húmedo– subalpino subtropical (pmh-SaS), Esta zona de vida se extiende entre los 3,900 y 4,600 msnm. La configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinadas, propios de las pampas y colinas altoandinas. La biotemperatura media anual varía entre 3 °C y 6 °C y la precipitación total anual entre 640 y 800 mm, siendo su relación de evapotranspiración de 0.25 y 0.50.
- Tundra pluvial – alpino subtropical (tp-AS), Esta Zona de Vida ocupa la franja inmediata inferior al piso Nival, entre los 4,300 y 5,000 metros de altitud. Se ubica sobre el páramo muy húmedo-Subalpino y Subtropical y por debajo del piso Nival. Presenta una biotemperatura media anual máxima de 3.2 °C y una media anual mínima de 2.5 °C. Su relación de

evapotranspiración potencial es de 0.25 y 0.125. El relieve topográfico es generalmente accidentado, variando a colinado y ondulado.

- Nival subtropical (NS), Esta Zona de Vida se ubica sobre la zona de San Rafael y en las lagunas altoandinas que van a dar origen al Río Antauta, a alturas superiores a los 5,000 msnm. La biotemperatura media anual se estima que generalmente se encuentra por debajo de 1.5 °C y un promedio de precipitación total anual por año variable entre 500 y 1,000 mm. El relieve es abrupto y está constituido por suelos netamente líticos, siendo peñososo o rocoso, no existiendo prácticamente cubierta edáfica.

4.4.2. Flora Terrestre

En el Área de Estudio se registraron 115 especies de plantas vasculares, las cuales se estuvieron distribuidas en 74 géneros y 32 familias botánicas representados por Magnoliopsidas y Liliopsidas.

Las Magnoliopsidas, comúnmente conocidas como dicotiledóneas, constituyeron el grupo más diverso con 85 especies (74%); en 57 géneros (77%) y 26 familias (81%). La flora del Área de Estudio estuvo dominada por las familias Asteraceae (34 especies) y Poaceae (18 especies) que en conjunto representaron el 45% (52 especies del total registradas), confirmando el patrón de dominancia de estas familias en la flora andina.

4.4.3. Tipos de Vegetación

Se identificaron los siguientes tipos de vegetación en el área de estudio: Pajonal; Bofedal; Matorral; Roquedal; Vegetación Ribereña y Vegetación de Suelos Crioturbados.

Analizando la composición florística, se registró que el pajonal presentó el mayor número de especies (37); seguido de los bofedales (29), matorrales (24), roquedales (22), vegetación ribereña (19) y vegetación de suelos crioturbados (4). Ver tabla N° 14

Tabla N° 9: Composición y Riqueza Florística

Tipo de vegetación	N° Familia	N° Géneros	N° Especie
Pajonal	13	29	37
Bofedal	14	26	29
Matorral	11	18	24
Roquedal	13	20	22
Vegetación Ribereña	9	14	19
Vegetación de suelos crioturbados	4	4	4

Fuente: Según el Plan de Cierre de Mina de la Unidad.

4.4.4. Cobertura Vegetal

De las especies, las mayores coberturas fueron registradas por Calamagrostis rígida (9.97%); Distichia muscoides (9.70%); Senecio rufescens (8.76%) y Calamagrostis vicunarum (8.49%) con coberturas > 8%, el resto de las especies con coberturas >2%.

Por el tipo de vegetación, cabe mencionar que para los pajonales la especie que presentó la mayor cobertura fue Calamagrostis pungens con un 35.0%; para los bofedales fue la especie Distichia muscoides con 48.18%; para los

matorrales fue la especie *Baccharis odorata* con un 21,12%; para los roquedales fue la especie *Calamagrostis rígida* con un 32.01%; para la vegetación ribereña la especie de mayor cobertura fue *Lilaea scilloides* con un 24.22% y finalmente en la vegetación de suelos crioturbados fue la especie *Senecio rufescens* con un 63.3%.

4.5. ESTABILIDAD GEOQUÍMICA EN LA UM SAN RAFAEL.

4.5.1. Condiciones Geoquímicas para Depósitos de Desmonte

Está comprobado que los minerales sulfurosos, al estar expuestos al oxígeno y al agua, se oxidan y acidifican el agua que entra en contacto con ellos. Estas aguas reaccionan con los minerales con los que posteriormente entra en contacto, y de no haber en estos últimos, suficientes elementos con capacidad de neutralización, los metales contenidos en dichos minerales podrían ser lixiviados por las aguas ácidas. Ver gráfico N° 3

Este fenómeno puede dar origen a la generación del drenaje ácido de roca (DAR), con un alto grado de acidez y/o con una elevada concentración de metales disueltos, lo que podría dar lugar a la generación de impactos ambientales en el entorno inmediato de la operación minera.

Grafico N° 2. Elementos para la generación de acidez



Fuente: Plan de Cierre de Minas de la Unidad.

4.5.2. Potencial Neto de Neutralización (Pnn)

La generación de drenaje ácido en los depósitos de desmonte es un problema ambiental característico de los yacimientos polimetálicos que contienen alta proporción de pirita. La caracterización química de estos materiales es eficaz para predecir, si ocurrirá generación de drenaje ácido en el corto, mediano o largo plazo.

Esta caracterización se logra determinando el Potencial Neto Neutralizante (PNN), de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Potencial de Acidez (PA):** Definido como la capacidad de un material de generar ácido, depende exclusivamente de su contenido de sulfuros. En la práctica se determina multiplicando el factor 31,25 por el contenido de azufre presente como sulfuro (en %);

- Potencial de Neutralización (PN): Definido como la capacidad de un material para neutralizar ácido, depende exclusivamente de su contenido de materiales consumidores de ácido tales como carbonatos, óxidos, etc., se determina experimentalmente, mediante adición de un ácido a una muestra del mineral considerado y titulación del ácido no consumido con una solución de NaOH;
- Potencial Neto de Neutralización (PNN): Definido como la capacidad neta de un material de neutralizar o generar ácido, se determina de la diferencia de potencial de neutralización (PN) y Potencial de acidez (PA).

Otro término importante es el cociente PN/PA, pues las reglas o criterios de estabilidad están referidos tanto al PNN, como a este cociente. Los criterios que se toma para determinar si una muestra de relave es generadora de drenaje ácido de roca (DAR) o no, son como se indican en la Tabla 15 y el segundo criterio de estabilidad química se indica en la Tabla 16.

Tabla N° 10: Primer criterio de estabilidad química

Segundo Criterio de Estabilidad Química	
Valores	Interpretación
$PN/PA > 3.0$	No generará drenaje ácido.
$PN/PA < -1.0$	Si generará drenaje ácido.
$-1 < PN/PA > 3.0$	Incertidumbre, puede o no generar drenaje ácido.

Nota: Las unidades del PN, PA, PNN están expresados en Kg de CaCO₃/TM.

Tabla N° 11: Segundo criterio de estabilidad química

Primer Criterio de Estabilidad Química	
Valoresx	Interpretación
$PNN > +20$	No generará drenaje ácido.
$PNN < -20$	Si generará drenaje ácido.
$-20 < PNN < +21$	Incertidumbre, puede o no generar drenaje ácido.

Nota: Las unidades del PN, PA, PNN están expresados en Kg de CaCO₃/TM.

5. CAPITULO V: RESULTADOS.

Los resultados nos mostraran lo identificado en campo y los análisis de laboratorio de las muestras analizadas.

5.1. IDENTIFICACIÓN DE DEPÓSITOS DE DESMONTE

En base a la inspección visual que se realizó en la UM San Rafael se logró determinar 5 zonas donde se acumulaban desmonte producto de las labores de interior mina.

También se identificó que al momento de realizar el estudio se encontraba en recrecimiento el dique de la presa de relaves de la Unidad Minera, este recrecimiento se estaba llevando a cabo con desmonte. El material utilizado para este recrecimiento (desmonte), fue extraído de los 5 depósitos de desmonte que existían en la Unidad. Se consideró al dique de la presa de relaves como una zona de acumulación de desmonte, con el objetivo de ser analizada y ver su potencial generador de acidez.

A continuación se describe las características de cada uno estos depósitos de desmonte.

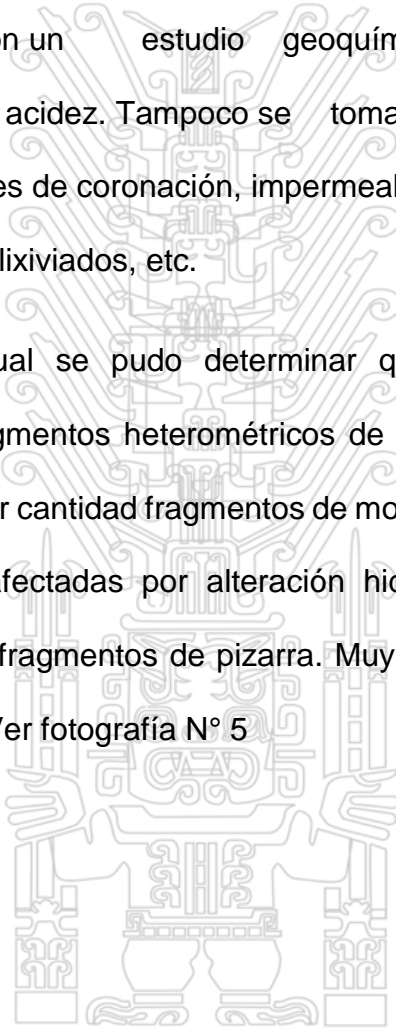
5.1.1. Depósito de desmonte Quellocunca

La Deposito de desmonte Quellocunca fue utilizada como depósito temporal de desmonte en la unidad, en los años 2010, 2011 y 2012. El desmonte depositado fue extraído de interior mina de las zonas de trabajo que se encontraban entre los niveles 4000 y 4200. Este se encuentra ubicado en la

parte alta de la UM San Rafael a una altura de 4880 msnm, en el margen izquierdo de la quebrada Larancota.

El depósito de desmonte Quellocunca cuenta con un **área de 25733 m²**, acumulando un **volumen de 202395 m³** de desmonte. Este depósito de desmonte no cuenta con un estudio geoquímico para conocer su potencial generador de acidez. Tampoco se tomaron medidas de control ambiental como: canales de coronación, impermeabilización de la zona, posas de captación de lixiviados, etc.

De la inspección visual se pudo determinar que este está constituido principalmente por fragmentos heterométricos de monzogranito (roca ígnea intrusiva), en una menor cantidad fragmentos de monzogranito que en algunas de sus caras están afectadas por alteración hidrotermal (Cloritización) y puntualmente algunos fragmentos de pizarra. Muy puntualmente se observó la presencia de pirita. Ver fotografía N° 5



Fotografía N° 5: Deposito de Desmonte Quellocunca



5.1.2. Depósito de desmonte N° 34

La Deposito de desmonte N° 34 fue utilizada como depósito temporal de desmonte en la unidad, los residuos que se depositaron en esta zona son producto de los trabajos en interior mina. Este se encuentra ubicado a 4600 msnm, en la parte alta de la Laguna Chogñacota. Ver fotografía N° 6

El depósito de desmonte N° 34 cuenta con un área de: M2 y un volumen de 55,000 m³, al igual que el depósito de desmonte Quellocunca este no cuenta con un estudio geoquímico por lo que en la actualidad no se sabe si es generador o no de acides. Tampoco está construido en base a controles ambientales, no contando con canales de coronación, impermeabilización de la zona y no cuenta con posas de captación de lixiviados. Ver fotografía N° 6.

El material de desmonte principalmente está constituido por fragmentos heterométricos de monzogranito (roca ígnea intrusiva) y en una menor cantidad fragmentos de monzogranito que en algunas de sus caras están afectadas por alteración hidrotermal (cloritización). En esta alteración hidrotermal, aparte de la clorita se muestra sulfuros (principalmente pirita y calcopirita).

Fotografía N° 6: Deposito de Desmonte Cancha 34



5.1.3. Depósito de desmonte N° 35

El depósito de desmonte N° 35 es utilizado como un depósito temporal de desmonte, los residuos depositados son producto de las labores en interior mina, específicamente de los trabajos realizados entre los niveles

3800 y 3600. Se encuentra ubicado en la margen derecha de la laguna Chogñacota a una altura del 4533 msnm. Ver fotografía N°7.

El depósito de desmonte N° 34 cuenta con un área de: 6,520 M² y un volumen de 253,249.00 m³, al igual que el depósito de desmonte Quellocunca este no cuenta con un estudio geoquímico por lo que en la actualidad no se sabe si es generador o no de acides. Tampoco está construido en base a controles ambientales, no contando con canales de coronación para las aguas de contacto, impermeabilización de la zona y no cuenta con posas de captación de lixiviados. Cuenta con un canal de coronación para aguas de no contacto.

Superficialmente se pudo observar que el desmonte principalmente está constituido por fragmentos heterométricos de monzogranito (roca ígnea intrusiva) y en una menor cantidad fragmentos de monzogranito que en algunas de sus caras están afectadas por alteración hidrotermal (cloritización). En los fragmentos de monzogranito alterados, aparte de la clorita se pudo visualizar sulfuros (principalmente pirita). Por otro lado, en menor cantidad se pudo identificar la pirita rellenando fracturas.

Fotografía N° 7: Deposito de Desmonte Cancha 35



5.1.4. Depósito de Desmonte JRC

El depósito de desmonte JRC fue utilizado como un depósito temporal de desmonte, los residuos depositados son producto de las labores antiguas en interior mina, específicamente de los trabajos realizados entre los niveles 4400 y 4200. Se encuentra ubicado en la margen izquierda de la laguna Chogñacota a una altura del 4500 msnm y al pie del depósito de relaves B2.

El depósito de desmonte JRC cuenta con un área de 5,985 M2 y un volumen de 27, 846 m3, al igual que el depósito de desmonte Quellocunca este no cuenta con un estudio geoquímico por lo que en la actualidad no se sabe si es generador o no de acides. Tampoco está construido en base a controles ambientales, no contando con canales de coronación para las aguas de contacto y no contacto, impermeabilización de la zona y no

cuenta con posas de captación de lixiviados. Actualmente el área del depósito de desmorte se viene utilizando como plataforma para contener. Ver fotografía N° 8.

Para la construcción de esta plataforma se utilizó material de desmorte que está constituido principalmente de roca ígnea intrusiva (Monzogranito), se pudo visualizar que algunos de estos fragmentos están cloritizados y con presencia de sulfuros, principalmente pirita.

Fotografía N° 8: Depósito de Desmorte Cancha JRC



5.1.5. Depósito de Desmorte B2.5

El depósito de desmorte B2.5 fue utilizado como depósito temporal de desmorte, los residuos depositados son producto de los trabajos en interior mina. Se encuentra ubicado a una altura del 4480 msnm al lado izquierdo del depósito de relaves B2.

El depósito de desmorte B2.5 cuenta con un área de 25,283 M² y un volumen de 127, 953 m³, al igual que el depósito de desmorte Quellocunca este no cuenta con un estudio geoquímico por lo que en la actualidad no se sabe si es generador o no de acides. Tampoco está construido en base a controles ambientales, no contando con canales de coronación para las aguas de contacto y no contacto, impermeabilización de la zona y no cuenta con posas de captación de lixiviados. Ver fotografía N° 9.

Al igual que los botaderos anteriormente descritos, está constituido por fragmentos heterométricos de Monzogranito, al ingreso a dicho botadero se pudo observar contenidos de pirita, calcopirita y galena en mayor proporción que en el resto del botadero.

Fotografía N° 9: Deposito de Desmorte Cancha B 2.5



5.1.6. Dique Bofedal III

Se consideró dentro de la identificación de depósitos de desmorte al Dique BIII, dado este está construido en su totalidad con material de desmorte y al momento de realizar la identificación de los depósitos de desmorte estaba en proceso de recrecimiento, para lo cual se utilizó desmorte de las 5 desmonteras antes mencionadas en diferentes volúmenes y en las diferentes plataformas del dique. Por lo que las anteriores desmonteras no cuentan con un estudio geoquímico se vio necesario la realización del análisis del material que se estaba trasladando. Ver fotografía N° 10. Durante la visita se pudo observar el uso de desmorte procedente del Botadero 34, y por lo tanto principalmente está constituido por fragmentos heterométricos de monzogranito y en una menor cantidad fragmentos de monzogranito con presencia de Cloritización. También se pudo observar algunos fragmentos con piritita y calcopiritita.

Fotografía N° 10: Deposito de Desmorte Dique BIII



5.2. RESULTADOS DE LABORATORIO

Para el estudio se realizó la toma de muestras según lo explicado en la metodología, se tomaron en total 40 muestras de las diferentes desmonteras para pruebas estáticas y 1 muestra para prueba cinéticas.

Las muestras fueron enviadas al Laboratorio SGS para los análisis por pruebas estáticas y cinéticas. La prueba cinética se realizó en 21 semanas donde se evaluó la evaluación del pH

A continuación se presenta tablas con resultados de los análisis:

5.2.1. Depósito de Desmonte Quellocunca

Se realizó la toma de 5 muestras del depósito y 1 muestra del acceso, todas las muestras se analizaron estáticamente. A continuación se muestra en la tabla N° 12 los resultados de los análisis.

Tabla N° 12: Resultados de Laboratorio - Quellocunca

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
CD-QQ-01	0.16	0.13	0.03	0.25	8.7	19.15	4.06	15.1	4.72	Material no productor de ácido
CD-QQ-02	0.18	0.14	0.04	<0.05	8.7	16.91	4.38	12.5	3.86	Material no productor de ácido
CD-QQ-03	0.08	0.08	<0.01	0.3	8.7	19.89	2.5	17.4	7.96	Material no productor de ácido
CD-QQ-04	0.11	0.09	0.02	0.35	8.4	17.16	2.81	14.3	6.11	Material no productor de ácido
CD-QQ-05	0.12	0.07	0.05	0.15	8.5	18.14	2.19	16	8.28	Material no productor de ácido
CR-QQ-01	0.04	0.03	0.01	0.25	8.4	17.17	0.94	16.2	18.27	Material no productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.2. Depósito de Desmonte N° 34

Se realizó el análisis de 5 Muestras obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 13:

Tabla N° 13: Resultados de Laboratorio – Desmonte N° 34

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
CD-N34-01	0.24	0.19	0.05	0.2	8.1	19.11	5.94	13.2	3.22	Material no productor de ácido
CD-N34-02	0.07	0.05	0.02	<0.05	8.7	19.41	1.56	17.8	12.44	Material no productor de ácido
CD-N34-03	0.12	0.08	0.04	0.2	8.5	19.13	2.5	16.6	7.65	Material no productor de ácido
CD-N34-04	0.23	0.18	0.05	0.2	7.9	18.4	5.63	12.8	3.27	Material no productor de ácido
CD-N34-05	0.26	0.2	0.06	0.15	8.6	19.4	6.25	13.2	3.1	Material no productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.3. Depósito de Desmonte N° 35

Se realizó el análisis de 5 Muestras obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 14:

Tabla N° 14: Resultados de Laboratorio – Desmonte N° 35

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
CD-N35-01	0.18	0.14	0.04	0.1	8.5	17.66	4.38	13.3	4.03	Material no productor de ácido
CD-N35-02	0.41	0.35	0.06	0.35	7.6	15.92	10.94	5	1.46	Material incierto
CD-N35-03	0.48	0.4	0.08	0.5	8.1	18.16	12.5	5.7	1.45	Material incierto
CD-N35-04	1.58	1.42	0.16	0.45	7.6	16.42	44.38	-27.96	0.37	Material productor de ácido
CD-N35-05	1.26	1.07	0.19	0.45	7.5	16.67	33.44	-16.77	0.5	Material productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.4. Depósito de Desmonte JRC

Se realizó el análisis de 2 Muestras obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 15:

Tabla N° 15: Resultados de Laboratorio – Desmonte JRC

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
CD-JRC-01	0.78	0.75	0.03	0.55	7.7	16.66	23.44	-	0.71	Material productor de ácido
CD-JRC-02	0.15	0.13	0.02	<0.05	8.4	16.91	4.06	12.8	4.17	Material no productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.5. Depósito de Desmonte B2.5

Se realizó el análisis de 2 Muestras obteniéndose los siguientes resultados que se muestran en la tabla N° 16:

Tabla N° 16: Resultados de Laboratorio – Desmonte B2.5

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
CD-B2.5-01	0.07	0.04	0.03	<0.05	8.9	19.4	1.25	18.1	15.52	Material no productor de ácido
CD-B2.5-02	0.05	0.02	0.03	<0.05	8.8	18.13	0.63	17.5	28.78	Material no productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.6. Dique BIII

Se realizó el análisis de 20 muestras estáticas y 1 muestra cinética. Las muestras fueron tomadas de las 4 plataformas del dique BIII y la muestra cinética fue tomada de la última plataforma del dique (cresta del dique).

5.2.6.1. Resultados de la Prueba Estática

Los resultados de las pruebas estáticas podemos apreciarlos en la tabla N° 17:

Tabla N° 17: Resultados de Laboratorio – Dique B3

Resultados de los Analisis de Desmonte										
Muestras	S(tot), %	S=, %	S04=, %	C03=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
DB3-N1-01	0.06	0.03	0.03	0.25	8.6	17.41	0.94	16.5	18.52	Material no productor de ácido
DB3-N1-02	0.09	0.08	0.01	<0.05	8.2	18.15	2.5	15.7	7.26	Material no productor de ácido
DB3-N2-01	0.16	0.11	0.05	0.1	8.1	16.42	3.44	13	4.77	Material no productor de ácido
DB3-N2-02	0.16	0.11	0.05	0.4	8.7	16.16	3.44	12.7	4.7	Material no productor de ácido
DB3-N2-03	0.33	0.23	0.1	0.45	8.2	16.9	7.19	9.7	2.35	Material incierto
DB3-N3-01	0.07	0.04	0.03	0.25	8.3	17.64	1.25	16.4	14.11	Material no productor de ácido
DB3-N3-02	0.27	0.2	0.07	0.1	8.4	21.39	6.25	15.1	3.42	Material no productor de ácido
DB3-N3-03	0.12	0.09	0.03	0.25	8.4	18.16	2.81	15.3	6.46	Material no productor de ácido
DB3-N3-04	0.06	0.04	0.02	0.15	8.7	18.88	1.25	17.6	15.1	Material no productor de ácido
DB3-N3-05	0.05	0.03	0.02	0.2	8.9	19.41	0.94	18.5	20.65	Material no productor de ácido
DB3-N3-06	0.1	0.07	0.03	<0.05	8.5	18.41	2.19	16.2	8.41	Material no productor de ácido
DB3-N3-07	0.11	0.06	0.05	<0.05	8.4	17.39	1.88	15.5	9.25	Material no productor de ácido
DB3-N3-08	0.1	0.07	0.03	0.3	8.5	18.66	2.19	16.5	8.52	Material no productor de ácido
DB3-N3-09	0.04	0.03	0.01	0.1	8.8	18.13	0.94	17.2	19.29	Material no productor de ácido
DB3-N3-10	0.08	0.06	0.02	0.2	8.6	18.65	1.88	16.8	9.92	Material no productor de ácido
DB3-N4-01	0.11	0.09	0.02	<0.05	8.7	18.65	2.81	15.8	6.64	Material no productor de ácido
DB3-N4-02	0.06	0.05	0.01	0.1	8.3	17.41	1.56	15.8	11.16	Material no productor de ácido
DB3-N4-03	0.06	0.04	0.02	0.35	8.5	18.63	1.25	17.4	14.9	Material no productor de ácido
DB3-N4-04	0.05	0.03	0.02	0.1	8.7	18.9	0.94	18	20.11	Material no productor de ácido
DB3-N4-05	0.06	0.05	0.01	0.2	8.6	17.88	1.56	16.3	11.46	Material no productor de ácido

Fuente: Laboratorio SGS

5.2.6.2. Resultados de la Prueba Cinética

Este estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización química de la muestra, predecir el potencial de generación o neutralización acida y la caracterización de las soluciones. Para tal efecto se efectuaron los test de conteo acido base (ABA modificado), NAG, Celda de Humedad y la Caracterización química mediante iCP de Alimentación y Ripio.

Test Análisis ABA

Los resultados de los análisis ABA dan como resultado que la muestra enviada no son productores de aguas acidas. Ver tabla N° 18

Tabla 18: Resultados de Laboratorio - Cinético

Muestras		S(tot), %	S=, %	SO4=, %	CO3=, %	pH pasta	NP	AP	Net NP	NP/AP	Tipo de material
DB3-N4-01C	Alimentación Celda	0.13	0.10	0.03	0.15	8.7	12.49	3.13	9.4	3.99	Material no productor de aguas ácidas
DUP-DB3-N4-01C		0.13	0.10	0.03	0.17	8.7	12.49	3.13	9.4	3.99	Material no productor de aguas ácidas
DB3-N4-01C	Ripio de Celda	0.11	0.09	0.02	0.15	8.0	9.73	2.81	6.9	3.46	Material no productor de aguas ácidas
DUP-DB3-N4-01C		0.10	0.09	0.01	0.19	8.0	9.55	2.81	6.6	3.40	Material no productor de aguas ácidas

Fuente: Laboratorio SGS

Test Análisis NAG

Los resultados de las pruebas NAG indican que las muestras analizadas indican que el material tiene una baja generación de aguas acidas.

Tabla 19: Resultados de Laboratorio - NAG

Muestras		NAG pH	NAG kgH ₂ SO ₄ /Ton pH(4.5)	NAG kgH ₂ SO ₄ /Ton pH(7.0)	Tipo de Material (pH 4.5)
DB3-N4-01C	Alimentación Celda	6.2	<0.1	0.6	Material de baja generación de aguas ácidas
DUP DB3-N4-01C		6.2	<0.1	0.6	Material de baja generación de aguas ácidas
DB3-N4-01C	Ripio de Celda	5.1	<0.1	0.6	Material de baja generación de aguas ácidas
DUP DB3-N4-01C		5.0	<0.1	0.5	Material de baja generación de aguas ácidas

Fuente: Laboratorio SGS

Resultados Pruebas de Celdas

Los resultados durante los 21 ciclos analizados muestran los valores de pH en el rango 6.80 y 7.56. Estos valores muestran que el mineral analizado se encuentra en un estado neutro. Ver Tabla N° 20

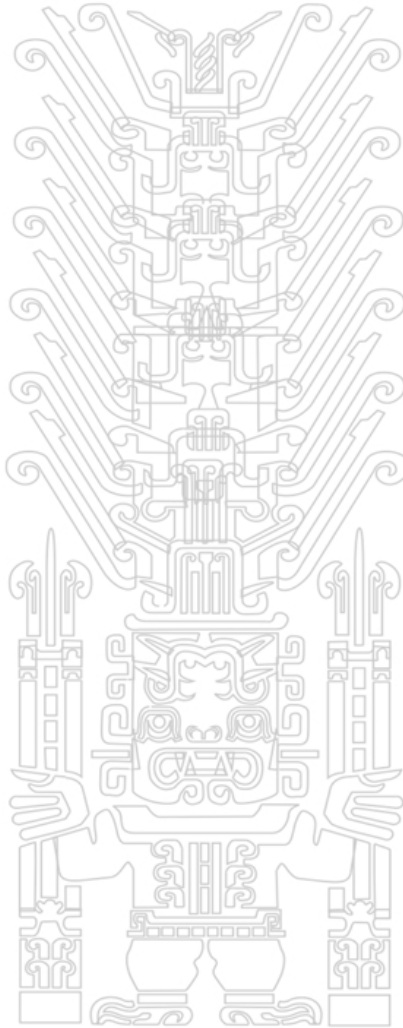
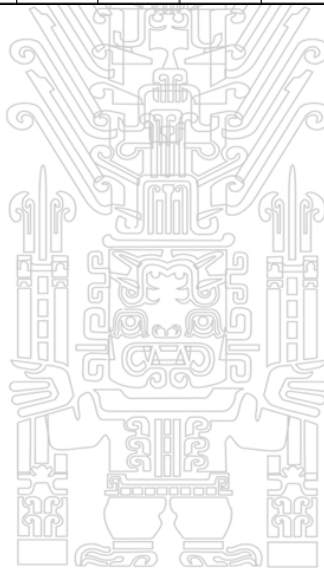


Tabla 20: Resultados de Laboratorio – pH en Pasta

Análitos	Límite de Detección	Unidad Ciclos	Ciclo-1	Ciclo-2	Ciclo-3	Ciclo-4	Ciclo-5	Ciclo-6	Ciclo-7	Ciclo-8	Ciclo-9	Ciclo-10	Ciclo-12	Ciclo-14	Ciclo-15	Ciclo-19	Ciclo-20	Ciclo-21
pH a 25° C (A)	0.1	u pH	7.39	7.56	7.48	7.37	7.38	7.36	7.39	7.40	7.33	7.20	7.11	7.05	6.95	6.90	6.84	6.80
Análitos	Límite de Detección	Unidad Ciclos	Ciclo-1	Ciclo-2	Ciclo-3	Ciclo-4	Ciclo-5	Ciclo-6	Ciclo-7	Ciclo-8	Ciclo-9	Ciclo-10	Ciclo-12	Ciclo-14	Ciclo-15	Ciclo-19	Ciclo-20	Ciclo-21
Carbonatos (A)	0.5	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Fuente: Laboratorio SGS



6. CAPITULO Nº VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para poder comprender mejor la metodología a continuación se describirán algunos conceptos en los cuales nos basaremos para analizar los resultados obtenidos en cada uno de los depósitos de desmonte de la UM San Rafael.

- a) **pH en Pasta:** Es el índice de acidez total almacenada en la muestra y la extensión en la que ha ocurrido la oxidación antes del análisis.
- b) **Potencial de Acides (AP):** Es la medida del máximo potencial de acidez que la muestra puede generar si todos los minerales sulfurosos contenidos se oxidan en forma rápida. Es un valor calculado considerando la concentración de azufre total o sulfato de azufre total en la muestra.

$$PA = \text{wt\% sulfato de azufre} \times 31.25$$

Se expresa como Kg de CaCO₃ equivalente por tonelada de muestra

- c) **Potencial de Neutralización (NP):** Es una medida del potencial de neutralización de la muestra. Es un valor medido, determinado por la cantidad de ácido que la muestra puede neutralizar bajo condiciones estándar de laboratorio. Se reporta como Kg de CaCO₃ equivalente por tonelada de muestra.

d) Potencial Neto de Neutralización (NNP): Es una medida del balance entre el potencial de generación de acidez y el consumo de ácido de la muestra. $NNP = NP - AP$. Se reporta como KG CaCO₃ equivalente por tonelada de muestra.

Se considera que si el NNP es mayor a +20 Kg CaCO₃ equivalente por tonelada, entonces es poco probable que la muestra sea una fuente neta de generación de ácido. Recíprocamente, un valor igual o menor a cero es un indicador de que es muy probable que la muestra sea una fuente neta de generación de ácido. Los valores entre 0 y +20 Kg de CaCO₃ equivalente por tn de muestra indican una incertidumbre en el potencial de generación de ácido.

e) Ratio Potencial de Neutralización (NPR): Es la tasa del potencial de neutralización a potencial de generación ácido para la muestra. $NPR = NP/AP$.

Tabla N° 22: Resultados de Laboratorio

Potencial de DAR	Criterio de evaluación	Comentario
Productor de Acido	$NPR < 1$	Gran probabilidad de generación DAR
Incierto	$1 < NPR < 3$	Alguna posibilidad de generación DAR
No Productor de Acido	$NPR > 3$	Poca probabilidad de generación DAR

Fuente: Elaboración Propia

6.1.1. Desmontera Quellocunca

- ✓ De las 6 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización de las muestras se encuentran en el siguiente rango: $12.5 < \text{NNP} < 17.4$. Por lo que en base al análisis según este criterio las muestras presentan una incertidumbre de generación de acides.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización estas se encuentra por encima de 3.86, alcanzando valores de 18.27 por lo que las muestras no son generadoras de acides.
- ✓ En base a los dos criterios se consideran que las muestras para este depósito no son productores de ácido de roca. También cabe mencionar que el pH de la Pasta se encuentra en promedio para todas las muestras en 8.7.
- ✓ Como medida preventiva dado que los resultados en base a los análisis por PNN salió con un grado de incertidumbre, se propondrán medidas de control para este depósito de desmonte.

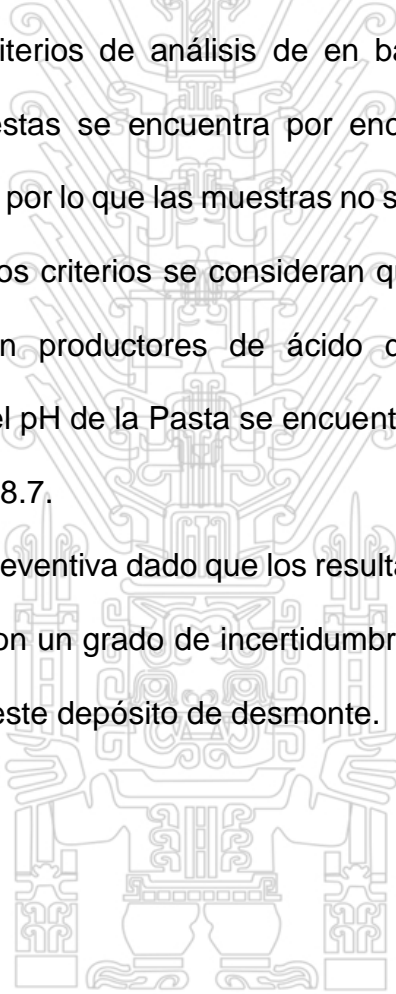
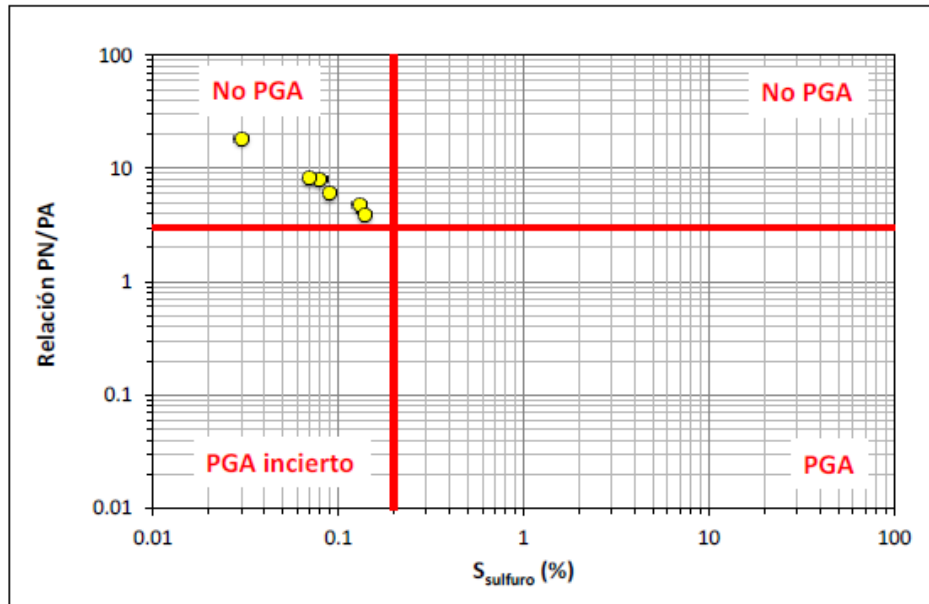


Gráfico N°3: Tendencia de Generación de acidez - Quellocunca



Fuente: Elaboración Propia

Discusión Prueba Cinética

Los resultados del test ABA modificado en las muestras de cabeza y los rípios de las celdas húmedas indica que la muestra no es generadora de ácido. En cuanto el potencial neto de neutralización, Net NP tienen valores por debajo de las 20 toneladas equivalente de CaCO_3 , por 1000 toneladas de material lo cual nos daría una incertidumbre en la producción de aguas ácidas, pero pasta pH y su bajo contenido de azufre nos indican que es una muestra no generadora de aguas ácidas en el tiempo.

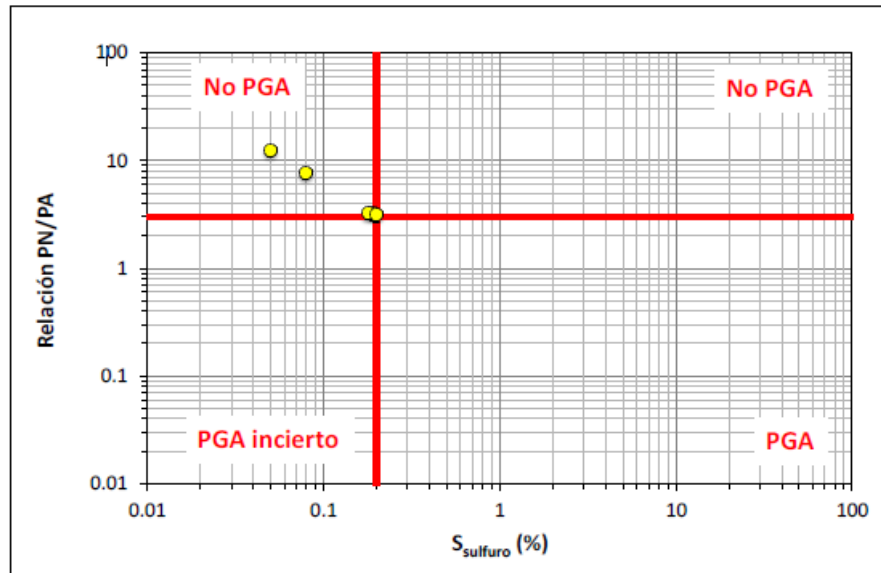
En efecto la relación NP/AP que relaciona el potencial de neutralización y el potencial de generación de acidez arroja valores mayores a 3, por lo que no se les consideraría generadores de acidez.

Las celdas húmedas mostraron una pequeña tendencia decreciente de pH, iniciando desde un pH de 7.39 hasta un pH final de 6.80 en 21 semanas. En base a los resultados se cataloga a la muestra como no generadora de acidez

6.1.2. Depósito de Desmonte N° 34

- ✓ De las 5 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización de las muestras se encuentran en el siguiente rango: $12.8 < \text{NNP} < 17.8$. Por lo que en base al análisis según este criterio las muestras presentan una incertidumbre de generación de acides.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización estas se encuentra por encima de 3.22, alcanzando valores de 12.44 por lo que las muestras no son generadoras de acides.
- ✓ En base a los dos criterios se consideran que las muestras para este depósito no son productores de ácido de roca. También cabe mencionar que el pH de la Pasta se encuentra en promedio para todas las muestras en 8.36.
- ✓ Como medida preventiva dado que los resultados en base a los análisis por PNN salió con un grado de incertidumbre, se propondrán medidas de control para este depósito de desmonte. Ver gráfico N° 4

Gráfico N°4: Tendencia de Generación de acidez desmonte N° 34



Fuente: Elaboración Propia

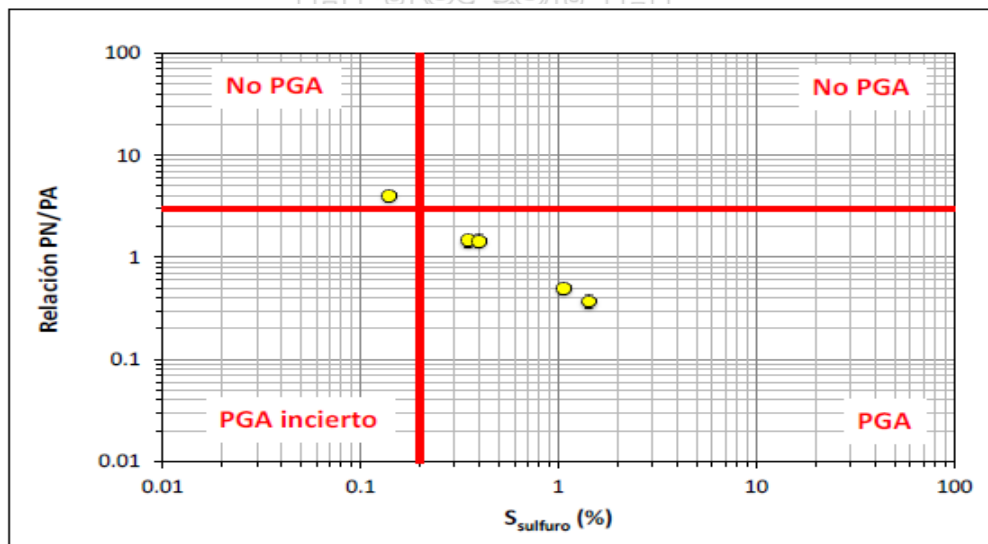
6.1.3. Depósito de Desmonte N° 35

- ✓ De las 5 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización para 2 muestras obtuvieron los siguientes resultados: CD-N35-04 = -27.96 y la muestra CD-N35-04 = -16.77, por lo que se les considera generadores de acidez. Las otras 3 muestras obtuvieron los siguientes resultados CD – N35 – 02 = 5, CD – N35 – 03 = 5.7 y CD – N35 – 01 = 13.3 por lo que son consideradas inciertas para la generación de acidez.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización para 2 muestras obtuvieron los siguientes resultados:

CD-N35-04 = 0.37 y la muestra CD-N35-04 = 0.5, por lo que se les considera generadores de acides. Otras 2 muestras obtuvieron los siguientes resultados CD – N35 – 02 = 1.46, CD – N35 – 03 = 1.45, por lo que son consideradas inciertas. La última muestra CD – N35 – 01 = 4.03, por lo que es considerada material no productor de acidez.

- ✓ En base a los dos criterios se consideran que las muestras CD – N35 – 04 y CD – N35 – 05, para este depósito son productores de ácido de roca. La muestras CD – N35 – 02 y CD – N35 – 03, son consideradas inciertas y la muestra CD – N35 – 01 es material no productor de acides.
- ✓ Se considera tomar medidas de control para esta cancha ya que de las 5 muestras tomadas 2 son productores de acides y 2 son inciertas. Ver gráfico N° 5.

Gráfico N°5: Tendencia de Generación de acidez Desmonte N° 35

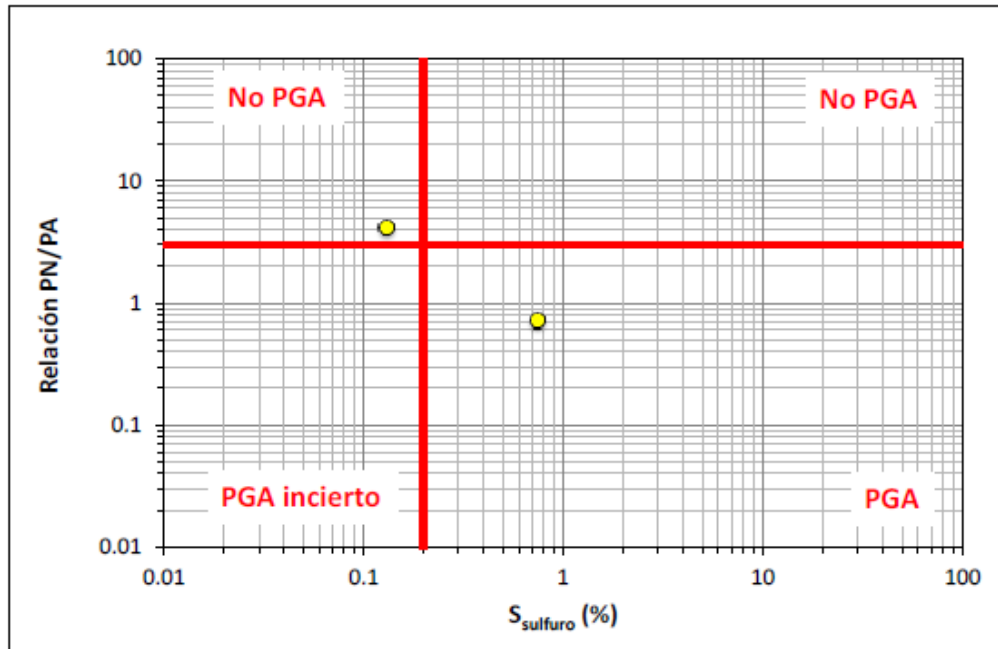


Fuente: Elaboración Propia

6.1.4. Depósito de Desmonte JRC

- ✓ De las 2 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización para 1 muestras es: CD-JRC-01 = -6.78 y la otra muestra CD-JRC-02 = 12.8, por lo que se le considera a la primera muestra generador de acides y a la segunda como generador incierto.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización se obtuvieron los siguientes resultados: CD-JRC-01 = 0.71 y la muestra CD-JRC-02 = 4.71, por lo que se le considera a la primera muestra generador de acides y a la segunda como generador incierto.
- ✓ En base a los dos criterios se considera que la muestra CD – JRC – 01 es productor de ácido de roca y la muestras CD – JRC – 02 es no productor de acidez.
- ✓ Se considera tomar medidas de control para esta cancha ya que 1 de las muestras resulto generador de acidez. Cabe resaltar que el depósito de desmonte JRC se encuentra ubicado al pie del depósito de relaves B2, por lo que no generaría ningún tipo de impacto sobre la calidad de suelo o agua. Ver gráfico N° 6.

Gráfico N°6: Tendencia de Generación de acidez Desmonte JRC



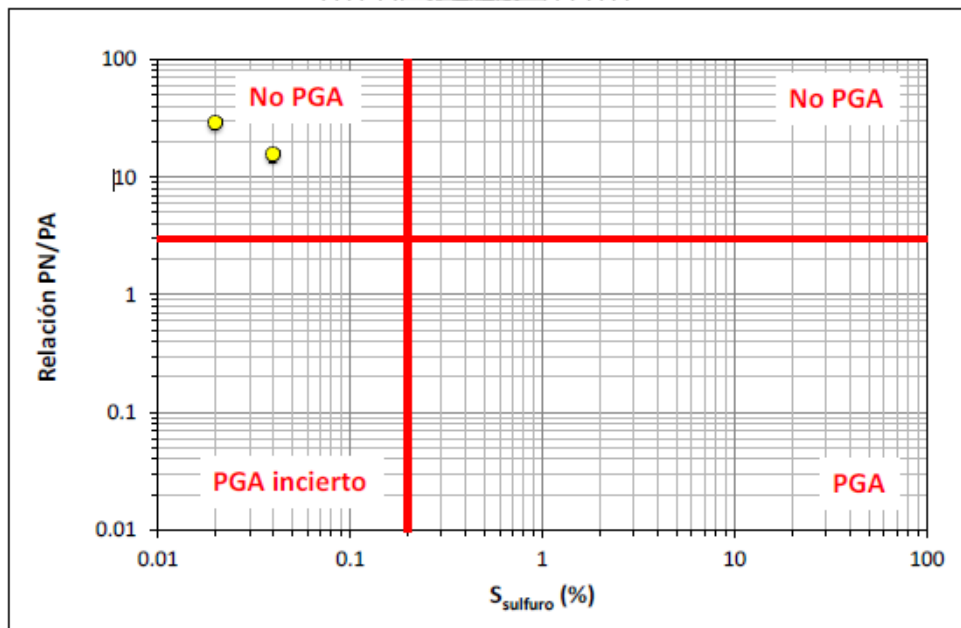
Fuente: Elaboración Propia

6.1.5. Depósito de Desmonte B2.5

- ✓ De las 2 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización es: CD-B2.5-01 = 18.1 y la otra muestra CD-17.5-02 = 17.5, por lo que se les considera como materiales productores de acidez inciertos.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización se obtuvieron los siguientes resultados: CD-B2.5-01 = 15.52 y la muestra CD-B2.5-02 = 28.78, Por lo que se les considera no productores de acidez.

- ✓ En base a los dos criterios se considera que las dos muestras tomadas son consideradas como material no productor de acidez.
- ✓ No se considera tomar medidas de control para esta cancha dado que las muestras analizadas nos indican que no generaran drenaje acido de roca, además ya que al encontrarse esta desmontera al pie de depósito de relaves B2.5 no generaría ningún tipo de impacto sobre el medio ambiente. Ver gráfico N° 7.

Gráfico N°7: Tendencia de Generación de acidez Desmonte B2.5

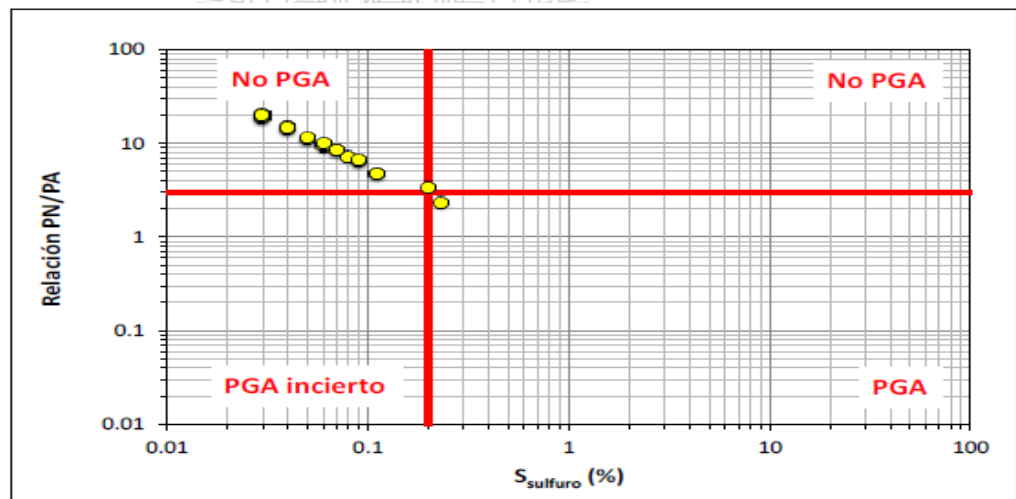


Fuente: Elaboración Propia

6.1.6. Dique BIII

- ✓ De las 20 muestras analizadas los resultados del potencial neto de neutralización de las muestras se encuentran en el siguiente rango: $9.7 < \text{NNP} < 18.5$. Por lo que en base al análisis según este criterio las muestras presentan una incertidumbre de generación de acidez.
- ✓ Tomando los criterios de análisis de en base al Ratio Potencial de Neutralización, 19 muestras analizadas no son consideradas productoras de acidez, ya que el rango se encuentra entre $3.42 < \text{NRP} < 20.65$, 1 muestra DB3-N2-03 tiene como valor 2.35, por lo que es considerado como incierto
- ✓ En base a los dos criterios se consideran que las 19 muestras para el Dique BIII no son productoras de ácido de roca y a la muestra DB3-N2-03, se le considera como incierta. Ver gráfico N° 8.

Gráfico N°8: Tendencia de Generación de acidez Dique BIII



Fuente: Elaboración Propia

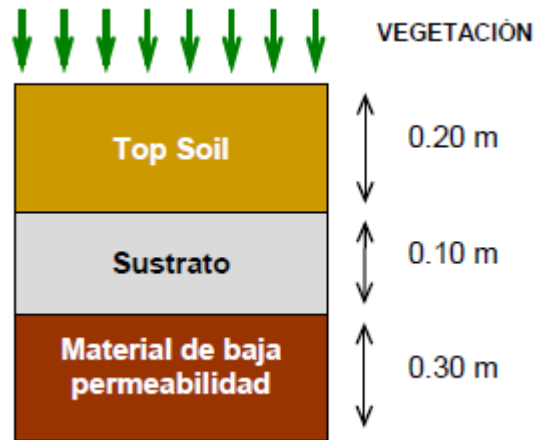
6.2. MEDIDAS DE CONTROL

Como parte de los objetivos de la presente tesis, es proponer medidas de control para las canchas de desmonte donde se generaría drenaje ácido de roca así como los que presentan una generación incierta. A continuación se detallarán las medidas de control que se requieren para cada una de las canchas de desmonte.

6.2.1. Depósito de Desmonte Quellocunca

- ✓ Para la cancha de desmonte Quellocunca a pesar de que no se encontró en las muestras analizadas potencial de generación de ácidos. Se propone el traslado definitivo de esta cancha a una zona autorizada, ya que la zona en la que se emplaza actualmente no cuenta con ningún tipo de certificación ambiental.
- ✓ Si el depósito de desmonte permanece en el mismo lugar, se propone la construcción de canales de coronación para captar las aguas de escorrentía y derivarlas hacia la quebrada más cercana, ya que con la ubicación actual de la cancha de desmonte se encuentra alternado el flujo natural del agua de escorrentía.
- ✓ Realizar una cobertura Tipo 2 para asegurar la estabilidad del depósito de desmonte el cual estará diseñado en base a la siguiente distribución.
Ver Gráfico N° 9.

Grafico N° 9: Tipo de Cobertura 2 - Quellocunca



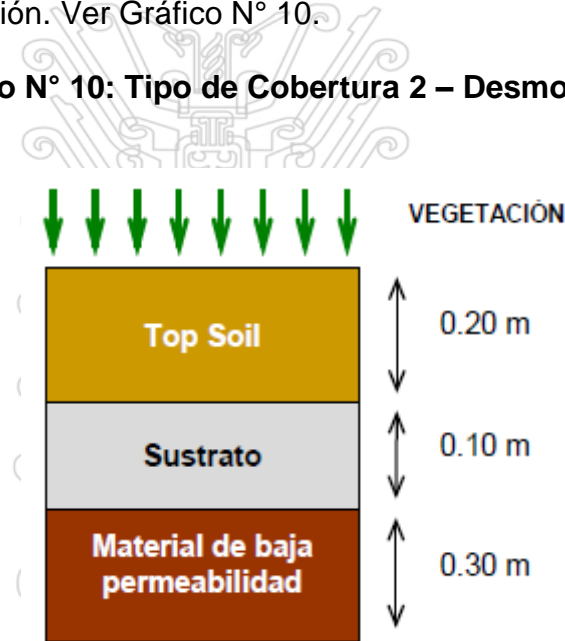
- ✓ Para la revegetación del depósito de desmonte se considera utilizar especies de las zonas que puedan adaptarse rápidamente a la zona.
- ✓ También se recomienda la instalación de instalación geotécnica como Hitos de control, con el objetivo de ver los desplazamientos de los depósitos de desmontes con el tiempo, los cuales tienen que ser monitoreados trimestralmente.

6.2.2. Depósito de Desmonte N° 34

- ✓ La cancha de desmonte N° 34 en los resultados analizados no cuenta con potencial para generar acidez.
- ✓ Este depósito de desmonte fue aprobado en el Plan de Cierre de la Unidad y tiene como objetivo ser utilizado en el recrecimiento del Dique Bill, por tal motivo todo el material de desmonte será trasladado para esta actividad.

- ✓ Una vez se realice el traslado de esta cancha de desmonte se requiere realizar las siguientes actividades de control:
 - Nivelación de la superficie donde fue depositado el desmonte
 - Colocación de cobertura tipo 2 sobre la huella del depósito, incluido la revegetación. Ver Gráfico N° 10.

Gráfico N° 10: Tipo de Cobertura 2 – Desmonte N° 34



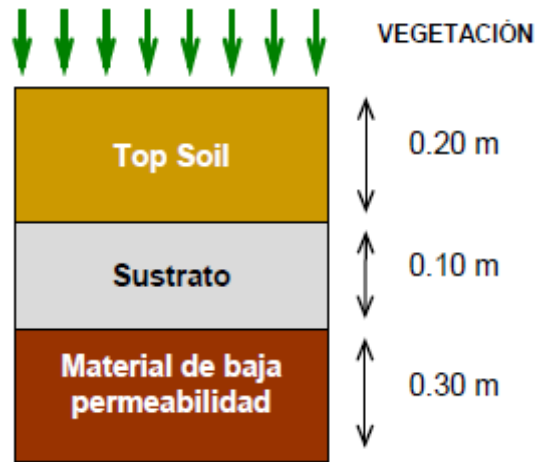
- ✓ Para la revegetación del depósito de desmonte se considera utilizar especies de las zonas que puedan adaptarse rápidamente a la zona.

6.2.3. Depósito de Desmonte N° 35

En los resultados obtenidos en las pruebas se concluyó de 2 muestras son productores de ácido y 2 muestras tienen potencial de generación incierto. A continuación se detallan las medidas correctivas para esta cancha de desmonte.

- ✓ Se recomienda el traslado total de la cancha de desmonte hacia un lugar que cumpla con todos los controles ambientales necesarios para un depósito de desmonte.
- ✓ Para el cierre se debe realizar una cobertura Tipo 2 para asegurar la estabilidad del depósito de desmonte el cual estará diseñado en base a la siguiente distribución. Ver Gráfico N° 11.

Gráfico N° 11: Tipo de Cobertura 2 – Desmonte N° 35



- ✓ También se recomienda la instalación de instrumentación geotécnica como Hitos de control, con el objetivo de ver los desplazamientos de los depósitos de desmontes con el tiempo, los cuales tienen que ser monitoreados trimestralmente.

Si el depósito de desmonte continúa siendo utilizado este debe ser implementado con las siguientes medidas de control:

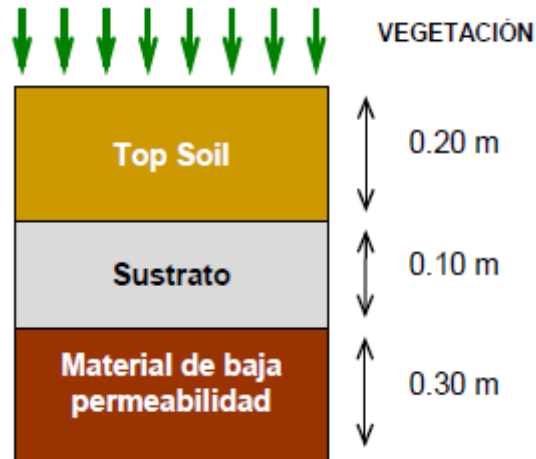
- ✓ Se deben construir canales de coronación para agua de contacto y no contacto.
- ✓ Se debe implementar una poza de captación y un sistema de tratamiento para las aguas de contacto y solicitar las autorizaciones necesarias para el vertimiento ya que se considera como un efluente.
- ✓ Se debe tener medidas de control para evitar la generación de polvo por el tránsito de vehículos.
- ✓ Control continuo de los taludes para asegurar los diseños de estabilidad del depósito.

6.2.4. Depósito de Desmonte JRC

En los resultados de los análisis se obtuvo que una muestra era potencial generador de acides, por lo que se recomienda las siguientes medidas de control:

- ✓ Se recomienda realizar el cierre del depósito de desmonte en el mismo lugar, ya que el área donde se encuentra emplazada pertenece a la Relavera BII, por lo que cualquier tipo de generación de acides será captada por la relavera y las agua tratadas en el sistema de tratamiento de los efluentes generados por los relaves.
- ✓ Para el cierre se debe realizar una cobertura Tipo 2 para asegurar la estabilidad del depósito de desmonte el cual estará diseñado en base a la siguiente distribución. Ver Gráfico N° 12.

Grafico N° 12: Tipo de Cobertura 2 – Desmorte JRC



- ✓ Se recomienda la instalación de instrumentación geotécnica como Hitos de control, con el objetivo de ver los desplazamientos de los depósitos de desmontes con el tiempo, los cuales tienen que ser monitoreados trimestralmente.

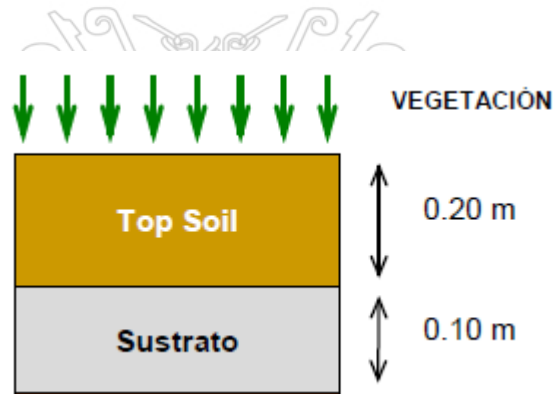
6.2.5. Depósito de Desmorte B2.5

En los resultados de los análisis no se obtuvo ninguna muestra con potencial generador de ácidos, por lo que se recomienda lo siguiente

- ✓ Se recomienda realizar el cierre del depósito de desmorte en el mismo lugar, ya que el área donde se encuentra emplazada pertenece a la Relavera B2.5.
- ✓ Por no ser generador de ácidos se recomienda el siguiente tipo de cobertura

- ✓ Para el cierre se debe realizar una cobertura Tipo 3 para asegurar la estabilidad del depósito de desmonte el cual estará diseñado en base a la siguiente distribución. Ver Gráfico N° 13.

Gráfico N° 13: Tipo de Cobertura 3 – Desmonte B2.5



- ✓ Se recomienda la instalación de instrumentación geotécnica como Hitos de control, con el objetivo de ver los desplazamientos de los depósitos de desmontes con el tiempo, los cuales tienen que ser monitoreados trimestralmente.

6.2.6. Dique BIII

En los resultados obtenidos del dique BIII, de 20 muestras analizadas 19 no son generadores de ácidos y 1 muestra es considerado como incierto.

La muestra analizada por el método cinético nos resultó que no genera drenaje ácido de roca.

En base a los resultados se propone lo siguiente.

- ✓ Para el siguiente recrecimiento del Dique BIII a la cota 4780, se propone realizar una caracterización geoquímica del material de desmorte que será dispuesto.

6.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ✓ El año 2013 se desarrolló la tesis Caracterización geoquímica para determinar el potencial de acides del depósito de desmorte sierra nevada en Yauli, para la elaboración de la investigación se escogió un depósito de desmorte, la diferencia con la tesis actual es que en esta se realizó como primera instancia una identificación de las zonas donde se depositan desmorte en la Unidad.
- ✓ En la tesis actual se identificaron 5 depósitos de desmorte y una zona donde se estaba utilizando desmorte por lo que la cantidad de muestras recolectadas son de 41 muestras. La tesis antes mencionada toma como muestras 6 puntos de monitoreo (6 muestras)
- ✓ La tesis antes mencionada realiza análisis estáticos, en la tesis actual como mejora se incluyó una muestra cinética la cual fue analizada en 22 semanas.
- ✓ Debido a las características de la zona y a la mineralogía de los depósitos de desmorte para la Tesis Actual se evidencio que en la mayoría de las muestras no son generadores de acides. La tesis antes mencionada nos arrojan valores que en su conjunto indican que el depósito de desmorte es generador de acidez.

7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- ✓ En la UM Rafael se identificaron 5 zonas en donde se depositaban desmonte sin ningún criterio ambiental y sin contar con una caracterización geoquímica de los depósitos de desmonte. También se detectó que el material usado para el recrecimiento del dique de la relavera BIII, provenía de los depósitos de desmonte antes mencionados por lo que también se realizó la caracterización geoquímica de este dique.
- ✓ El resultado de ensayo ABA Modificado determina que de un total de 40 muestras analizadas, solo tres muestras DB3-N2-03, CD-N35-02 y CD-N35-03, se presentan como material incierto para producir drenaje ácido de roca de acuerdo a los límites establecidos para el tipo de muestras. Otras 3 muestras CD-N35-04, CD-N35-05 y CD-JRC-01, dan como resultado que son productores de ácido de roca de acuerdo a la relación $NP/AP < 1$ y las 34 muestras restantes no son productores de drenaje ácido de roca, de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis ABA. Los resultados de la muestra cinética realizado a las muestras indica que la muestra no es generadora de drenaje ácido de roca.
- ✓ Como medida correctiva para las canchas de desmonte se recomienda el traslado total del desmonte hacia una zona que cumpla con los

controles ambientales necesarios para evitar cualquier tipo de contaminación. En caso se cierren en el mismo lugar se recomienda el cierre con una cobertura de tipo 2.

7.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe realizar pruebas de análisis cinéticos a todos los depósitos de desmonte para ver si con el tiempo estos pueden producir drenaje ácido de roca.
- ✓ Se deben implementar las medidas de control descritas, para garantizar la estabilidad geoquímica de los depósitos de desmonte en el tiempo, si este no fuera el caso se recomienda la construcción de un depósito de desmonte con todos los controles ambientales necesarios, el cual servirá para trasladar todos los depósitos de desmonte identificados en la Unidad Minera San Rafael.
- ✓ Se recomienda, la evaluación geoquímica de los materiales de desmonte que vienen siendo extraídos de interior mina para su adecuado manejo en función de asegurar la estabilidad geoquímica en sus lugares de emplazamiento, aun cuando estos sean temporales. Además, orientar el uso de estos materiales de desmonte, mediante su adecuada segregación, como material de préstamo, a partir de las fracciones no alteradas y con contenidos escasos de sulfuros.

8. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- ✓ **CELEDONIO ARANDA, C. (2006).** Caracterización Geoquímica de Rocas y su Manejo Ambiental en Antamina, Artículo de la Revista Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- ✓ **D.W., Blowes and C.J. Ptacek (1994).** Acid neutralization mechanisms in inactive mine tailings. Short course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Waste, Jambor, J.L., Blowes, D.W. (Eds.). Mineralogical Association of Canada. Special Vol. 22, Pg. 272-292.
- ✓ **Dold, B., (2005).** Basic concepts of environmental geochemistry sulfide mine-waste. Mineralogía, geoquímica y geomicrobiología para el manejo ambiental de desechos mineros. XXIV Curso Latinoamericano de Metalogenia. UNESCO-SEG. 36 p.
- ✓ **E.H., Perkins; H.W., Gunter; W.D., L.C., S-tArnaud and J.R., Mycroft (1995).** Critical review of geochemical processes and geochemical models adaptable for prediction of acid drainage from waste rock. Mine Environment Neutral Drainage (MEND) Report 1.42.1. secretariat CANMET, Ottawa, Ont.
- ✓ **ENVIRONMENTAL LAW ALLIANCE WORLDWIDE (2010).** Guía para evaluar Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos Mineros. U.S.A.
- ✓ **GEORGIUS, Agrícola (1556).** De re Metallica. Translated by H.C. Hoover and L.H. Hoover in 1912, (reprinted 1950, Dover Publication. New York).
- ✓ **HURTADO GUERRERO, Yvan Orinado (2002), Tesis:** “Prospección Geoquímica del Cuadrángulo de Chalhuanca (29-p) - Inventario de Recursos Minerales”. **Lima-Perú.**

- ✓ **Katia Cecilia Guanira (2009)** “Proyecto Tantahuatay, Compañía de Minas Buenaventura Plan de Manejo de Roca de Desmonte con fines de ser incluido en el EIA”
- ✓ **LAPAKKO, K., (2002).** Metal mine rock and waste characterization tools: An overview. Mining, minerals and sustainable development N°67. 29p.
- ✓ **LEY DE CIERRE DE MINAS (2003), LEY N° 28090 y su modificatoria Ley N° 28507.** Lima-Perú.
- ✓ **MAKSAEV, Víctor; (2001).** *Metalogénesis. Pg. 18*
- ✓ **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (1996).** Guía Ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina. Lima-Perú.
- ✓ **REGLAMENTO DE LA LEY DE CIERRE DE MINAS (2005).** D.S. 033-2005-EM, y sus posteriores modificatorias D.S. 046-2006-EMy D.S. 035 -2006 -EM. Lima-Perú.
- ✓ **RIVERA MANTILLA, Hugo (2007).** Introducción a la Geoquímica General y Aplicada. Pgs. 476. Lima-Perú.
- ✓ **SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, Raquel Jacovet, (2013)** “Estudio de caracterización geoquímica del material de desmonte de una mina a tajo abierto en el sur del Perú”
- ✓ **Yanacocha Oeste (2006)** “Se realizaron cuatro fases de recolección de datos y análisis para caracterizar la geoquímica del desmonte y de las paredes finales de los tajos.”

9. ANEXOS

- ✓ Plano de Ubicación Mina San Rafael
- ✓ Plano de Ubicación Depósitos de Desmonte
- ✓ Plano de los puntos de muestro de las canchas de desmonte
- ✓ Encuestas realizadas.

