



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL RÍO RAGRA POR EL MAL  
MANEJO DE DRENAJE ÁCIDO PROVENIENTE DEL DEPÓSITO DE  
RELAVE EN PASCO**

**Línea de Investigación:**

**Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Bioremediación**

**Tesis para optar el Grado Académico de**

**Maestro en Gestión Ambiental**

**Autor:**

**La Torre Sánchez David Ricardo**

**Asesor:**

**Zambrano Cabanillas Abel Walter**

**Código ORCID: 0000-0001-6930-5601**

**Jurado:**

**Mayhuasca Guerra, Jorge Victor**

**Zamora Talaverano, Noe Sabino**

**Mendoza Garcia, José Tomas**

**Lima, Perú**

**2023**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	9
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Descripción del problema .....	13
1.3 Formulación del problema .....	15
1.4 Antecedentes .....	16
1.5 Justificación .....	21
1.6 Limitaciones .....	22
1.7. Objetivos.....	23
1.8. Hipótesis .....	24
II. MARCO TEÓRICO .....	25
2.1. Marco conceptual.....	25
III. MÉTODO.....	33
3.1 Tipo de Investigación.....	33
3.2 Población y muestra.....	33
3.3 Operacionalización de variables .....	34
3.4 Instrumentos .....	34
3.5 Procedimientos .....	34
3.6 Análisis de datos .....	35
IV. RESULTADOS.....	36
4.1 Descripción de la zona de estudio.....	36
4.1.1 Aspectos generales .....	36
4.1.2 Ubicación Geográfica y Política .....	36
4.1.3 Pasivos Ambientales .....	39
4.1.4 Determinación del Área de Influencia Ambiental.....	39
4.1.5 Criterios de delimitación del Área de Influencia Ambiental .....	40
4.1.6 Área de Influencia Ambiental Directa (AIAD) .....	41
4.1.7 Área de Influencia Ambiental Indirecta (AIAI) .....	41
4.2 Aspectos Físicos .....	42
4.2.1 Fisiografía .....	42
4.2.2 Geología .....	42
4.2.3 Geodinámica Externa .....	44
4.2.4 Caracterización de Suelos.....	45
4.2.5 Uso Actual de Suelos .....	46

4.2.6 Calidad Ambiental de Suelos .....	47
4.2.7 Clima y Meteorología.....	49
4.2.7.1 Precipitación .....	50
4.2.7.2 Temperatura .....	51
4.2.7.3 Humedad relativa .....	52
4.2.7.4 Velocidad y dirección del viento.....	53
4.2.8 Evaluación de la Calidad de Aire .....	53
4.2.8.1 Calidad de aire .....	53
4.2.8.1.1 Ubicación de los puntos de monitoreo.....	54
4.2.8.1.2 Parámetros de calidad de aire.....	54
4.2.9 Hidrología.....	55
4.2.10 Calidad de Agua .....	56
4.2.10.1 Evaluación de la Calidad de Agua Superficial.....	56
4.2.10.1.1 Ubicación de los Puntos de Monitoreo.....	56
4.2.10.1.2 Parámetros de Monitoreo.....	57
4.2.10.2 Efluentes en la Zona .....	57
4.2.10.2.1 Ubicación de los Puntos de Monitoreo.....	57
4.2.10.2.2 Parámetros de Monitoreo.....	58
4.2.11 Pruebas de Potencial de Neutralización y Acidez Máxima .....	58
4.2.11.1 Puntos de muestreo .....	58
4.2.12 Hidrobiología .....	59
4.2.13 Sedimentos acuáticos .....	60
4.2.13.1 Norma Referencial .....	60
4.3 Resultados de muestreo de calidad de suelo .....	61
4.4 Resultados de muestreo de calidad de aire .....	62
4.5 Resultados del Análisis de la Calidad de Agua Superficial .....	63
4.6 Resultados del Análisis de Efluentes Mineros.....	67
4.7 Resultados de Potencial de Neutralización y Acidez Máxima .....	69
4.8 Resultados Hidrobiológicos.....	69
4.9 Resultados de Sedimentos Acuáticos.....	71
4.10 Resultados sobre el Sistema de Tratamiento de aguas ácidas.....	71
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	73
5.1 Sobre calidad de suelo .....	73
5.2 Sobre calidad de aire.....	73
5.3 Sobre calidad de agua superficial .....	73

5.4 Sobre Efluentes Mineros.....	76
5.5 Sobre el Potencial de Neutralización y Acidez Máxima.....	78
5.6 Sobre recursos Hidrobiológicos.....	79
5.7 Sobre metales en sedimentos acuáticos .....	79
5.8 Sobre el Sistema de Tratamiento de aguas ácidas .....	80
VI. CONCLUSIONES .....	84
VII. RECOMENDACIONES.....	86
VIII. REFERENCIAS .....	87
IX. ANEXOS .....	91
Anexo A: Ubicación y accesibilidad .....	91
Anexo B: Concesión de beneficio El metalurgista .....	93
Anexo C: Caracterización de suelos .....	95
Anexo D: Uso actual de suelos.....	97
Anexo E: Estaciones muestreo de agua, aire, efluentes .....	99
Anexo F: Estaciones de muestreo para el potencial de neutralización y acidez.....	101
Anexo G: Estaciones de muestreo hidrobiológicos .....	103
Anexo H: Estaciones de muestreo de sedimentos.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenada del punto central del estudio.....	38
Tabla 2	Coordenadas de los vértices de la concesión .....	39
Tabla 3	Ubicación de coordenadas UTM de calicatas.....	45
Tabla 4	Categorías y áreas del uso actual de suelos identificadas en la zona de estudio.....	47
Tabla 5	Ubicación de coordenadas UTM de puntos de monitoreo de suelos.....	48
Tabla 6	Estándares de calidad ambiental para suelo.....	48
Tabla 7	Descripción de la Estación Meteorológica Cerro de Pasco .....	50
Tabla 8	Precipitación Total Mensual en mm - Estación Cerro de Pasco (2002-2012).....	50
Tabla 10	Humedad relativa mensual en % - Estación Cerro de Pasco (2002-2012) .....	52
Tabla 11	Ubicación de los Puntos de Monitoreo de Calidad de Aire.....	54
Tabla 12	Parámetros de Evaluación para Calidad Ambiental de Aire .....	55
Tabla 13	Puntos de Monitoreo de Calidad Ambiental de Agua .....	57
Tabla 14	Puntos de Monitoreo de Efluentes.....	58
Tabla 15	Puntos de Muestreo para el Potencial de Neutralización y Acidez .....	59
Tabla 16	Estaciones Hidrobiológicas durante época de avenida y estiaje.....	59
Tabla 17	Estaciones de sedimentos Acuáticos en épocas de avenida y estiaje .....	60
Tabla 18	Resultados del Monitoreo de la Calidad de Suelos .....	61
Tabla 19	Resultados de la Calidad del Aire – Temporada de avenida .....	62
Tabla 20	Resultados de la Calidad del Aire – Temporada de estiaje .....	63
Tabla 21	Resultados de Calidad Ambiental de Agua – Temporada de avenida.....	63
Tabla 22	Resultados de Calidad Ambiental de Agua – Temporada de estiaje .....	65
Tabla 23	Resultados de Efluentes Mineros– Temporada de avenidas.....	68
Tabla 24	Resultados de Efluentes Mineros – Temporada de estiaje .....	68
Tabla 25	Resultados de laboratorio de Potencial de Neutralización y Acidez .....	69

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Aspecto de un Río con residuos producidos por operaciones mineras .....	12
Figura 2 Drenaje ácido de minas usualmente marcado por “el niño amarillo,” una sustancia de color naranja amarillenta que daña a los peces y otros organismos acuáticos .....	15
Figura 3 El ácido y el escurrimiento de los metales de la mina Zortman Landusky en Montana, Estados Unidos de Norteamérica .....	17
Figura 4 La esorrentía ácida de la mina Summitville en Colorado, Estados Unidos de Norteamérica .....	19
Figura 5 Tratamiento de las aguas ácidas dentro del proceso minero-metalúrgico.....	21
Figura 6 Tratamiento de las aguas ácidas .....	26
Figura 7 Ubicación geográfica y política de la zona de estudio.....	37

## **Diagnóstico de la contaminación del río Ragra por el mal manejo de drenaje ácido proveniente del depósito de relave en Pasco**

**David Ricardo La Torre Sánchez**

### **Resumen**

Se analizaron la contaminación de la zona de Desmonte Excelsior y los Depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco y los potenciales de neutralización y de acidez máximo generados. Se propuso un sistema de tratamiento para el drenaje ácido. Se determinó el área de influencia ambiental. Luego se evaluó el agua superficial, los efluentes, los sedimentos acuáticos y los tratamientos para drenajes ácidos; los muestreos se hicieron en periodos de avenida y estiaje. Para la calidad de suelo las concentraciones de los parámetros, no exceden el estándar, excepto para arsénico (As) y plomo (Pb); para la calidad de aire, no exceden el estándar. Para agua superficial, los parámetros cumplen con el estándar a excepción de algunos metales, el pH, está fuera del rango establecido, algunos sólidos totales en suspensión se encuentran encima del límite. Los depósitos de relaves Quiulacocha son generadores de ácido por tener potencial de neutralización negativo. Para metales en sedimentos acuáticos se usó The Canadian Sediment Quality for the Protection of Aquatic Life, Canadian Environmental Quality Guidelines, norma con dos valores específicos, el Interm sediment quality guidelines (ISQG) límite debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos y el Probable Effect Level (PEL) que informa de las concentraciones sobre las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia. Para las épocas húmeda y seca, se supera el ISQG y PEL para el cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc. El tratamiento de las aguas ácidas tiene que ser pasivo, como el canal óxico calizo.

*Palabras clave:* Depósito de relave, Quiulacocha-Pasco, río Ragra, manejo de drenaje ácido, potencial de neutralización, potencial de acidez máxima, tratamiento pasivo de aguas ácidas.

## **Diagnosis of the contamination of the Ragra River due to the mishandling of acid drainage from the tailings deposit in Pasco**

**David Ricardo La Torre Sánchez**

### **Abstract**

The contamination of the Desmonte Excelsior area and the tailings deposits in Quiulacocha-Pasco and the potential for neutralization and maximum acidity generated were analyzed. A treatment system for acid drainage was proposed. The area of environmental influence was determined. Then the surface water, effluents, aquatic sediments and treatments for acid drains were evaluated; Sampling was done in periods of avenue and runoff. For soil quality the parameter concentrations do not exceed the standard, except for arsenic (As) and lead (Pb); For air quality, they do not exceed the standard. For surface water, the parameters comply with the standard except for some metals, the pH is outside the established range, some total suspended solids are above the limit. Quiulacocha tailings deposits are acid generators because they have negative neutralization potential. For metals in aquatic sediments, The Canadian Sediment Quality for the Protection of Aquatic Life, Canadian Environmental Quality Guidelines, a standard with two specific values, the Interm sediment quality guidelines (ISQG) limit was used below which no adverse biological effects are expected and the Probable Effect Level (PEL) that reports the concentrations over which adverse biological effects are frequently encountered. For the wet and dry seasons, the ISQG and PEL for cadmium, copper, mercury, lead and zinc are exceeded. The treatment of acidic waters has to be passive, like the limestone oxide channele.

Keywords: Tailings deposit, Quiulacocha-Pasco, Ragra river, acid drainage management, neutralization potential, maximum acidity potential, passive treatment of acid waters.

## I. INTRODUCCIÓN

ECOPORTAL.NET (2006) afirma “La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo de grandes concentraciones industriales y urbanas en determinadas zonas, son fenómenos que, por incontrolados, han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza y pueden llevar a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles”.

Las actividades mineras provocan generalmente grandes impactos ambientales, con destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (antrosolos) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Las consecuencias negativas se reflejan fundamentalmente en una destrucción de la estructura del suelo y una modificación de sus características texturales, frecuentemente una disminución de la fracción arcilla a favor de fracciones más gruesas; una acidificación asociada a los procesos de oxidación que favorece la movilización de especies químicas tóxicas limitantes de la actividad biológica; la decapitación de los horizontes superficiales biológicamente activos, que conlleva la ruptura de los ciclos biogeoquímicos y la dificultad de enraizamiento; y una disminución de la capacidad de cambio y de la retención de agua en el suelo como consecuencia de la escasez de materia orgánica y arcilla (Macías, 1996).

El objetivo de esta investigación fue analizar la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excelsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, que por el mal manejo de drenaje ácido contamina el río Ragra y determinar el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte

y los depósitos de relaves, para su tratamiento y mejora de la calidad de agua del río Ragra.

Para cumplir con el objetivo se muestra la ubicación de la zona de estudio, las categorías y áreas del uso actual de suelos identificadas en la zona y los puntos de monitoreo de suelos, además, se consideró para su análisis los estándares de calidad ambiental para suelo, la descripción de la Estación Meteorológica Cerro de Pasco y en ella, la precipitación total mensual en mm-Estación Cerro de Pasco (2002-2012), temperatura mensual en °C - Estación Cerro de Pasco (2002-2012), humedad relativa mensual en % - Estación Cerro de Pasco (2002-2012).

En aspectos atmosféricos, se ubicó los puntos de monitoreo de calidad de aire y determinó los parámetros de Evaluación para Calidad Ambiental de Aire. En aspectos hidrológicos se ubicó los puntos de Monitoreo de Calidad Ambiental de Agua, los puntos de Monitoreo de Efluentes y los puntos de Muestreo para el Potencial de Neutralización y Acidez. En el aspecto hidrobiológico se ubicó las estaciones Hidrobiológicas durante época de avenida y estiaje y estaciones de sedimentos Acuáticos en épocas de avenida y estiaje.

Los resultados se aprecian en la Calidad de Suelos, Calidad del Aire – Temporada de avenida, Calidad del Aire – Temporada de estiaje, Calidad Ambiental de Agua – Temporada de avenidas, Calidad Ambiental de Agua – Temporada de estiaje, Calidad de Efluentes Mineros– Temporada de avenidas, Calidad de Efluentes Mineros – Temporada de estiaje y en el Potencial de Neutralización y Acidez de los depósitos de relaves y desmontes de la zona de estudio.

### **1.1. Planteamiento del problema**

ECOPORTAL.NET (2006) afirma “La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo de grandes concentraciones industriales y urbanas en determinadas zonas, son fenómenos que, por incontrolados, han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza y pueden llevar a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles”.

Las actividades mineras provocan generalmente grandes impactos ambientales, con destrucción de los suelos naturales y creación de nuevos suelos (antrosolos) que presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan la reinstalación de vegetación. Las consecuencias negativas se reflejan fundamentalmente en una destrucción de la estructura del suelo y una modificación de sus características texturales, frecuentemente una disminución de la fracción arcilla a favor de fracciones más gruesas; una acidificación asociada a los procesos de oxidación que favorece la movilización de especies químicas tóxicas limitantes de la actividad biológica; la decapitación de los horizontes superficiales biológicamente activos, que conlleva la ruptura de los ciclos biogeoquímicos y la dificultad de enraizamiento; y una disminución de la capacidad de cambio y de la retención de agua en el suelo como consecuencia de la escasez de materia orgánica y arcilla (Macías, 1996).

Los pasivos ambientales son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, que hoy en día se encuentran abandonados o inactivos (Quimtia Industrial, 2016b).

Lamentablemente, estas instalaciones pueden contaminar el agua, el suelo y el aire, por lo que se han convertido en un gran riesgo permanente y potencial para la salud de la población y del ecosistema. Por ejemplo, pueden provocar la presencia de minerales en la sangre o afectar en gran magnitud a las vías respiratorias de las personas (Quimtia Industrial, 2016b).

En el caso de que los contaminantes lleguen a los ríos, no solo van a ocasionar su contaminación, sino que acabarían con la vida de los peces y de las demás especies que se encuentren en ellos (Figura 1). También pueden ser perjudiciales para los cultivos y para los animales que se encuentren en los alrededores. Si los pasivos ambientales se encuentran en zonas de bosques, el daño que ocasionan en la flora puede ser irreversible. Efectuar su recuperación sería muy complejo y difícil de efectuar (Quimtia Industrial, 2016b).

### **Figura 1**

*Aspecto de un Río con residuos producidos por operaciones mineras*



Fuente: Quimtia Industrial, 2016b.

## 1.2. Descripción del problema

A nivel local, hoy en día, en nuestro país existen más de 8500 pasivos ambientales mineros registrados por el Ministerio de energía y minas (MINEM). La mayoría de estos, se encuentran ubicados en las ciudades de:

- Áncash (1115)
- Cajamarca (1018)
- Puno (522)
- Cusco (507)
- La Libertad (488)
- Pasco (429)
- Huancavelica (830)
- Lima (613)

La condición de pasivos ambientales está relacionada directamente con la pérdida del estado ambiental previo. Frente a la existencia de pasivos ambientales, es muy necesario recurrir a no solo una remediación o mitigación. También es esencial resarcir todos los daños ocasionados. La remediación consiste en el conjunto de actividades que pueden ser llevadas a cabo con el fin de cumplir los criterios ambientales específicos y lograr alcanzar los objetivos sociales deseados (Quimtia Industrial, 2016b).

El drenaje ácido de minas es una de las más graves amenazas de la minería que afecta el agua. Un drenaje ácido de minas puede devastar ríos, arroyos, y una gran mayoría

de la vida acuática, este daño puede existir durante cientos de años, o incluso miles de años si es que el problema sigue sin resolverse. Muchas empresas desconocen los resultados de este grave problema, lo cual puede causar un daño irreparable en las plantas y animales, consecuentemente también nos afecta a todas las personas. Lo importante es conocer cómo se forma el drenaje ácido de minas y cómo podemos ayudar a combatirlo (Quimtia Industrial, 2016a).

Las aguas ácidas como se ha mencionado líneas arriba, causan mucho daño al ecosistema, especialmente al medio acuático y con la finalidad de preservar y evitar la posible contaminación de las zonas aledañas (ríos y quebradas), la descarga final de agua al medio ambiente debe cumplir con todas las normas establecidas por la ley peruana. En el caso de los depósitos de relaves mineros en Quiulacocha-Pasco es necesario saber si el drenaje de aguas ácidas está causando un gran daño a las aguas del río Ragra e implementar un sistema de prevención contra la contaminación debido al mal manejo de drenaje ácido para favorecer la buena calidad de agua de dicho río, utilizando buenas prácticas mineras.

A nivel global, se conoce que, en las minas de metal, el mineral objetivo (como oro, plata, cobre, etc.) normalmente es rica en minerales de sulfuro. Cuando el proceso de extracción de los sulfuros expone al agua y al aire, juntos reaccionan para formar ácido sulfúrico. Este ácido puede disolver otros metales nocivos y metaloides (como el arsénico) de la roca circundante. El drenaje ácido de minas puede ser liberado en cualquier lugar de la mina donde los sulfuros están expuestos al aire y el agua, incluyendo las pilas de desmonte, escombreras, pozos abiertos, túneles subterráneos y pilas de lixiviación. El drenaje ácido de minas usualmente es marcado por “el niño amarillo,” una sustancia de

color naranja amarillenta (Figura 2) que se produce cuando el pH de la influenciada agua ácida de minas se eleva por encima de pH 3 (se acerca a las condiciones más neutras), de modo que el hierro previamente disuelto precipita (Quimtia Industrial, 2016a).

## **Figura 2**

*Drenaje ácido de minas usualmente marcado por “el niño amarillo,” una sustancia de color naranja amarillenta que daña a los peces y otros organismos acuáticos*



Fuente: Quimtia Industrial, 2016a.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **Problema General**

¿Cuál es la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excelsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, por el mal manejo de drenaje ácido que contamina el río Ragra y el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves, para su tratamiento y mejora de la calidad de agua del río Ragra?

### **Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excelsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, por el mal manejo de drenaje ácido que contamina el río Ragra?
- b) ¿Cuál es el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves?
- c) ¿Se puede mejorar el manejo del drenaje ácido del depósito de relaves con medidas de prevención para mejorar la calidad de agua del río Ragra?

### **1.4. Antecedentes**

El drenaje ácido de minas puede tener graves consecuencias para los peces, animales y plantas. Consecuentemente, este problema puede repercutir en todas las personas. Muchos ríos que han sido afectados tienen un pH de 4 o menor, similar al ácido de la batería. Por ejemplo, el ácido y el escurrimiento de los metales de la mina Zortman Landusky en Montana (Figura 3) ha perjudicado a la vida biológica en una docena de arroyos en las Little Rocky Mountains. Así como este ejemplo, el ácido ha sido el causante del daño en distintas partes del mundo, representando así un asunto de mucha preocupación para quienes hacemos todo lo posible por cuidar el mundo donde vivimos (Quimtia Industrial, 2016a).

Molina y Álvarez (s.f.) construyeron un canal experimental de piedra caliza y lograron incrementar el pH de 2,48 hasta hacerla apta para uso agropecuario, eliminando la acidez, hierro y arsénico que contaminaban el agua del río Tarucachi, Tarata – Perú.

**Figura 3**

*El ácido y el escurrimiento de los metales de la mina Zortman Landusky en Montana, Estados Unidos de Norteamérica*



Fuente: Quimtia Industrial, 2016a.

El drenaje ácido de minas es especialmente perjudicial, ya que se puede producir de forma indefinida, mucho después de que el trabajo minero haya terminado. Un artículo sobre el drenaje ácido de minas concluyó que “hoy en día no hay minas de superficie de roca dura que puedan demostrar que el drenaje ácido se puede detener una vez que se produce a gran escala.” Muchas minas de roca dura en todo el oeste de los Estados Unidos pueden requerir tratamiento de agua para cientos de miles de años, o “a perpetuidad”, como resultado de drenaje de la mina. Se documenta que más de 40 minas de roca dura generarán un estimado de 17-27 millones de galones de agua contaminada cada año, a perpetuidad, y requieren un tratamiento de agua altamente costoso (Quimtia Industrial, 2016a).

El tratamiento de aguas ácidas puede ser una carga económica significativa para el público si una empresa está en quiebra o se niega a cubrir los costos de tratamiento de agua. A causa de esto, y por no haber enfrentado el problema con anticipación, el daño podría ser irreparable. Por ejemplo, la escorrentía ácida de la mina Summitville en Colorado (Figura 4) mató toda la vida biológica en un tramo de 17 millas del río Alamosa. Al lugar fue asignado un Superfondo Federal, y la EPA ha gastado más de \$ 210 millones de dólares en la limpieza, siendo sin lugar a dudas un altísimo costo para un problema que pudo ser solucionado anteriormente. Es por eso que debemos ser precavidos y tratar las aguas para que no dañen el ecosistema (Quimtia Industrial, 2016a).

Bazán (2020) determinó utilizando dos canales con lechos de caliza de  $\varnothing=1/2"$  y  $\varnothing=1"$ , que no fueron eficientes en la precipitación del aluminio total en el periodo de las 8 semanas de registro; mientras que en la primera y cuarta semana, ambos tratamientos mostraron ligera eficiencia en la mejora del pH, siendo el canal de lecho de  $\varnothing=1/2"$  ligeramente mayor en la primera semana y en la octava no fueron eficientes; pese a ello, los valores de pH en las dos primeras semanas, superaron los ECAs para agua de la categoría N° 03 y subcategoría D1 y D2.

Oblitas et al., (2019) utilizaron como material neutralizante la cal para tratar aguas ácidas de la mina San Cristóbal de la compañía Minera Volcán y demostraron que el agua recuperada incrementó su pH y que la cal abundaba en la zona y su costo es bastante económico.

**Figura 4**

*La escorrentía ácida de la mina Summitville en Colorado, Estados Unidos de Norteamérica*



Fuente: Quimtia Industrial, 2016a.

Los drenajes ácidos de minas son el producto de las operaciones de minería subterránea. Estas aguas contienen altos índices de acidez y carga de metales en disolución. Son el resultado de reacciones del agua, en los que intervienen elementos como sulfuros reactivos, oxígeno, agua (vapor o líquida) y bacterias como elementos catalizadores (Quimtia Industrial, 2017b).

La velocidad de reacción es un factor muy importante, ya que, si el proceso ocurre lentamente, el efecto sobre el medio puede ser mínimo. Sin embargo, si la generación de aguas ácidas es rápida, el problema se agrava, produciendo mayor contaminación en el entorno (Quimtia Industrial, 2017b).

La carga contaminante dependerá de una serie de factores que incluyen:

Velocidad de reacción de los materiales excavados.

Capacidad del ácido/base de los minerales y estériles.

Tamaño y solubilidad de los materiales.

Capacidad de neutralización de las aguas.

Transporte de oxígeno.

Movilidad del agua intersticial.

Permeabilidad del medio.

Clima y temperatura.

Evaporación e infiltración.

Acción catalizadora de las bacterias.

Adsorción microbiana de metales.

Precipitación y disolución de los metales durante el transporte.

El tratamiento de aguas ácidas brinda una serie de beneficios, tales como:

Las aguas tratadas podrán ser reutilizadas dentro del proceso minero-metalúrgico (Figura 5). Lo que significa un ahorro considerable en el uso de agua (Quimtia Industrial, 2017b).

Se obtendrá un valor agregado con la remoción de cobre y zinc, ya que estos metales podrán ser utilizados en diferentes procesos mineros. Además, brinda un ahorro significativo en costos de producción (Quimtia Industrial, 2017b).

Asimismo, con la finalidad de preservar y evitar la posible contaminación de las zonas aledañas, la descarga final de agua al medio ambiente cumplirá con todas las normas establecidas por la ley peruana (Quimtia Industrial, 2017b).

### **Figura 5**

*Tratamiento de las aguas ácidas dentro del proceso minero-metalúrgico*



Fuente: Quimtia Industrial, 2017b.

### **1.5. Justificación**

Se justifica el estudio, porque con un sistema eficiente y de bajo costo de disminución de generación de las aguas ácidas se aplicarían a los pasivos ambientales de la pequeña minería que presentan un declarado problema de drenaje ácido de mina. Es probable que existan otras concesiones que actualmente generen ácido, pero no se posee información al respecto. Con frecuencia, éste es el caso de las áreas antiguas y abandonadas de las minas activas y también de las áreas mineras de larga explotación como Cerro de Pasco, Huancavelica y Ayacucho. Hay pocas minas operativas que tienen un potencial muy bajo de drenaje ácido debido tanto a la geología favorable

como al hecho de que están localizadas en áreas con un balance neto de agua negativo. Para el remanente de las minas operativas, el potencial de generación ácida en el futuro no ha sido determinado. También se justifica porque el sistema ayudaría a que esas aguas ácidas no lleguen al río Ragra.

En el Perú no existe tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM), a excepción de una compañía de mediana minería. Actualmente, el DAM drena a cursos de agua naturales o se elimina en lagos o ríos, por lo que esta investigación dará una propuesta de un sistema para el tratamiento del drenaje ácido de minas proveniente de depósitos de relaves mineros.

La importancia es que se establecerá un sistema eficiente y de bajo costo que contribuya a la disminución de la presencia de aguas ácidas, puesto que una característica exclusiva de los depósitos del norte y centro del Perú es la abundancia de la enargita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ), un mineral comparativamente raro. Tal como lo describe Hurlburt y Klein (1996), la enargita "se encuentra en vetas y depósitos de reemplazo formado a temperaturas moderadas, asociada con la pirita, esfalerita, bornita, galena, tetrahedrita, covelita y calcocita". En este caso, será para la zona de Depósito de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco.

## **1.6. Limitaciones**

Las limitaciones para el presente estudio fueron la distancia al lugar, el costo de la movilidad, la permanencia en la zona por el tiempo de estudio; todos ellos superados, en cuanto al alcance esta se circunscribe a la zona de estudio conformada por la población de las localidades influenciadas por los Depósitos Quiulacocha y Excélsior, ubicados en la comunidad campesina de Quiulacocha y en el Asentamiento Humano Agrupación Familiar Champamarca, respectivamente. Las localidades en mención están situadas en

el distrito de Simón Bolívar, provincia de Pasco a la Región de Pasco, Distrito de Simón Bolívar y los efluentes generados de la zona que van a parar al río Ragra y este al río San Juan.

## **1.7. Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, por el mal manejo de drenaje ácido que contamina el río Ragra y el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves, para su tratamiento y mejora de la calidad de agua del río Ragra.

### **Objetivos específicos**

- a) Determinar la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, por el mal manejo de drenaje ácido que contamina el río Ragra.
- b) Determinar el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves.
- c) Establecer un sistema de disminución del drenaje ácido del depósito de relaves a fin de preservar la calidad de agua del río Ragra.

## 1.8. Hipótesis

### **Hipótesis general**

La determinación de la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco y el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves, ayudará para un sistema de tratamiento y mejora de la calidad de agua del río Ragra.

### **Hipótesis específicas**

- a) La determinación de la contaminación ambiental ayudará a establecer un sistema de tratamiento del drenaje ácido del depósito de relaves como medida de prevención.
- b) La determinación del potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves permitirá implementar un sistema de tratamiento del drenaje ácido.
- c) El establecimiento de un sistema de tratamiento del drenaje ácido del depósito de relaves mejorará la calidad de agua del río Ragra.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco conceptual

Los drenajes ácidos se generan cuando las rocas que contienen pirita, entran en contacto con el aire o agua. Se produce la oxidación química y biológica de la pirita, generando altos niveles de contaminación en las aguas superficiales y subterráneas. También se le incluye diversos metales en disolución que aportan un alto nivel de toxicidad al efluente (Quimtia Industrial, 2017a).

Existen diversas tecnologías de tratamiento que deben ser aplicadas en conjunto para obtener resultados efectivos (Figura 6). Estos tratamientos incluyen:

- **Procesos físicos, químicos y biológicos**

Estos procesos han logrado obtener excelentes resultados en la disminución de metales disueltos, sulfatos y aumento del pH. Sin embargo, debe ser aplicado en conjunto con otro tratamiento, ya que resulta ser insuficiente para depurar al 100% las aguas ácidas (Quimtia Industrial, 2017a).

- **La filtración**

El proceso de filtración también es un método eficiente y efectivo. Este es mucho más complejo y costoso que otros procedimientos. Consiste en la eliminación de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa, al pasar a través de medio poroso (Quimtia Industrial, 2017a).

- **Balsas de evaporación con sistema de atomización**

Este procedimiento permite evaporar grandes cantidades de agua, en comparación con el procedimiento natural de evaporación. Se aplica en conjunto con una etapa previa de neutralización que corrija el nivel de pH. Esta tecnología atomiza las gotas de agua, separándolas en micropartículas y finalmente las eleva hasta más de 50 metros, garantizando la efectividad del procedimiento (Quimtia Industrial, 2017a).

### **Figura 6**

*Tratamiento de las aguas ácidas*



Fuente: Quimtia Industrial, 2017a.

En realidad, muchos expertos afirman que el mejor método es la prevención, ya que una vez que las aguas han sido contaminadas, los procedimientos son más complejos y costosos. Por ello, recomiendan establecer programas que contribuyan con las buenas prácticas mineras y así evitar la generación de las aguas ácidas (Quimtia Industrial, 2017a).

- **Desarrollo Sostenible**

En las últimas décadas la sociedad se ha planteado la necesidad de un crecimiento económico cuyo impacto sobre el medio ambiente, no disminuya el bienestar de las futuras generaciones. Al respecto, en 1987, la Comisión Brudtland planteaba que: “El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (World Commission on Environmental and Development, 1987).

- **Drenaje ácido de roca**

Los drenajes ácidos de antiguos minados de carbón y minería metálica son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas en el mundo. Debido a que este problema puede persistir durante décadas e incluso cientos de años una vez finalizado el ciclo productivo, existe la necesidad de prevenir su formación y aplicar el tratamiento más adecuado cuando se ha formado.

Estos drenajes son tóxicos en diverso grado para el hombre, la fauna y la vegetación, contienen metales disueltos y constituyentes orgánicos solubles e insolubles, que generalmente proceden de labores mineras, procesos de concentración de minerales, presas de residuos y escombreras de mina. Existen reportes de la muerte de miles de peces y crustáceos de ríos, afecciones al ganado y destrucción de cultivos y riveras, así como la introducción de una coloración y turbiedad en aguas de ríos y lagos. El drenaje ácido de roca es un proceso natural de oxidación química y bacteriana de rocas sulfuradas expuestas a las condiciones

ambientales (agua y aire) y con la participación natural de microorganismos del género *Thiobacillus*, provocan la formación de ácido sulfúrico y de metales disueltos (Aduvire, 2006).

- **Control de los drenajes ácidos**

Por lo general, el control de los drenajes ácidos comprende dos conjuntos de actuaciones, unas de tipo preventivo y otras de carácter correctivo. Las preventivas se refieren a la adopción de medidas antes del comienzo de las labores extractivas y que son programadas en función al conocimiento del potencial contaminante que poseen los materiales a tratar. Mientras las correctoras son todas aquellas actuaciones que se llevan a cabo en el momento en que se comprueba que las medidas preventivas no han tenido el efecto deseado y existe la posibilidad de que se generen aguas ácidas (MINEM,1997).

- **Sistemas disponibles para el tratamiento de aguas acidas**

Los sistemas de recogida dependen de si las aguas ácidas son superficiales o subterráneas. En las primeras se utilizan cunetas, diques y pequeños embalses en los fondos de las explotaciones, mientras que para las segundas se recurre a zanjas de drenaje, muros de intercepción, pozos, galerías y otros. La mayoría de estos sistemas requieren de un cierto mantenimiento a largo plazo para garantizar su funcionamiento (Aduvire, 2006).

Generalmente los procesos de tratamientos de drenajes ácidos se basan en la eliminación y el aislamiento de metales y aniones metálicos de las aguas. Algunos de ellos incluyen las técnicas de precipitación que suelen ser bastante

efectivas para conseguir la calidad deseada de los efluentes. Sin embargo, si existen metales pesados disueltos en la solución en forma de complejos orgánicos, su retirada mediante precipitación directa resulta muy difícil sino imposible. En estos casos, el complejo debería descomponerse antes de añadir el agente precipitante (Aduvire, 2006).

Otras técnicas son las de oxidación clásica, ozonización y oxidación bacteriana, aunque previamente a realizar cualquier tipo de tratamiento es siempre recomendable determinar cuáles son los metales y su estado químico en los efluentes (Aduvire, 2006).

Por lo general los métodos de tratamiento de aguas ácidas de mina se clasifican en dos grandes grupos:

*Métodos activos*, que precisan de una operación continuada, como sucede en una planta química de tratamiento de aguas ácidas.

El tratamiento de aguas de mina utilizando métodos químicos mediante la adición de sustancias alcalinas, tiene un coste elevado sobre todo cuando se trata de grandes volúmenes. Además, requiere un control y mantenimiento de las instalaciones de aireación y mezclado, así como de un almacenamiento adecuado de los lodos con carga metálica.

*Métodos pasivos*, en los que la intervención del hombre es mínima, tal como sucede con los humedales, drenajes anóxicos calizos, sistemas de producción de alcalinidad y otros (Aduvire, 2006).

- **Tratamiento por métodos pasivos de drenajes ácidos**

Considerando que los sistemas pasivos tienen mayor eficacia en el tratamiento de pequeños caudales, como los que se generan en minas abandonadas, conviene realizar primero la estabilización física y geotécnica de las estructuras mineras a clausurar, seguido de los trabajos de sellado y restauración para minimizar las descargas de efluentes. Una vez recogido los drenajes residuales y antes de elegir el sistema de tratamiento, se debe proceder a su caracterización geoquímica (pH, oxígeno disuelto, conductividad, contenido de metales y otros), y poner especial atención a las condiciones hidrológicas del lugar, así como a los cambios de temperatura y clima. Entre los principales aspectos a tener en cuenta en el diseño de un sistema pasivo, tenemos: las características del agua a tratar, el área o superficie, la geometría del dispositivo, la profundidad de las celdas, el tiempo de retención hidráulica y la composición del sustrato (Aduvire, 2006).

Teniendo en cuenta que los métodos de tratamiento convencional de las aguas ácidas tienen costos elevados y que no pueden ser mantenidos por períodos prolongados una vez finalizada la vida de la mina, es necesario buscar la viabilidad de aplicar otros métodos de tratamiento como los sistemas pasivos. Entre los métodos de tratamiento pasivo que podrían aplicarse, para flujos superficiales tenemos los humedales artificiales, drenajes anóxicos, balsas orgánicas y sistemas de producción alcalina; para flujos subterráneos las barreras reactivas permeables (PRB, Permeable Reactive Barriers), y para lagos mineros los bioprocesos anaerobios. El objetivo principal es la supresión de la acidez, la

precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes (Aduvire, 2006).

- **Política Nacional Del Ambiente**

El principal eje de Política es la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos y de la diversidad biológica, además como Lineamiento de Política sobre minería y energía (Sustancias químicas y materiales peligrosos), se dicta asegurar la incorporación de criterios de salud y de protección de ecosistemas frágiles en el establecimiento, seguimiento y control de los planes de contingencia en el uso y manejo y de sustancias químicas y materiales peligrosos (MINAM, 2009).

- **Ley N° 28611, Ley General del Ambiente**

Esta ley contempla objetivos de planificación y el ordenamiento territorial, tal como es la promoción de protección, recuperación y/o rehabilitación de los ecosistemas degradados y frágiles (MINAM, 2011).

- **Decreto Supremo N° 068-2001-PCM Aprueban el Reglamento de la Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica**

Declara a la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica (ENDB) como instrumento de planificación y aplicación nacional del convenio sobre la diversidad Biológica en el país. La estrategia tiene un enfoque ecosistémico, es decir está basada en un proceso integrado para garantizar el mantenimiento de la diversidad biológica y sus procesos ecológicos, considerando la dimensión social, cultural y económica (El Peruano, 2001).



### **III. MÉTODO**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El presente trabajo de es de investigación aplicada y según la Intervención del Investigador es de tipo Experimental, según la Planificación de la Toma de Datos es del Prospectivo, según el Número de Ocasiones en que se Mide la Variable de Estudio es del tipo Longitudinal y según el número de Variables de Interés es Descriptivo porque se han utilizado datos de la contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, por el mal manejo de drenaje ácido que contamina el río Ragra y el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves, para su tratamiento y mejora de la calidad de agua del rio Ragra.

Asimismo, el Nivel de Investigación es el Nivel Exploratorio, porque tiene como función el reconocimiento e identificación de problemas. Desestima la estadística y los modelos matemáticos, se opone al estudio cuantitativo de los hechos, por tanto, es hermenéutico. Se trata de investigación cualitativa.

#### **3.2. Población y muestra**

La población de estudio consistió en el área de estudio y su influencia en el entorno.

La muestra estuvo conformada por puntos de muestreo ambientales de la zona de estudio especialmente los efluentes de las aguas ácidas provenientes de los relaves de mina.

### **3.3. Operacionalización de variables**

Las variables intervinientes son:

- ✓ La contaminación ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco.
- ✓ El potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez máxima.
- ✓ Un sistema tratamiento del drenaje ácido para mejorar el manejo del drenaje ácido del depósito de relaves.

### **3.4. Instrumentos**

Se utilizó instrumentos calibrados con técnicas de análisis de laboratorio físico químico para los parámetros ambientales y técnicas documentales para la encontrar las normas ambientales vigentes.

### **3.5. Procedimientos**

La investigación se realizó de la siguiente manera, en primer lugar, se consideró un diagnóstico ambiental de la zona de Desmonte Excélsior y los depósitos de relaves en Quiulacocha-Pasco, y luego se analizó el potencial de neutralización y el potencial máximo de acidez generados por el Depósito de Desmonte y los depósitos de relaves, para su tratamiento y mejora de la calidad de agua del río Ragra, finalmente se propuso un sistema tratamiento del drenaje ácido para favorecer la buena calidad de agua del río Ragra.

### **3.6. Análisis de datos**

En la presente investigación se usó datos prospectivos, longitudinales y experimentales que se pusieron en una matriz de datos.

Se determinaron, clasificaron y procesaron los Indicadores de Calidad Ambiental con respecto a las aguas ácidas provenientes de depósito de relaves en Quiulacocha-Pasco y se analizaron y correlacionaron con la legislación ambiental vigente.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Descripción de la zona de estudio

#### 4.1.1. Aspectos generales

El área o zona de estudio se centró en los depósitos de relaves mineros de Quiulacocha y depósito de desmontes Excélsior y se evaluó tres componentes ambientales: físico, químico y biológico. Se realizaron muestreos de cada uno de los componentes físicos: aire, agua y suelos; así como evaluaciones visuales del ambiente biológico y de interés humano.

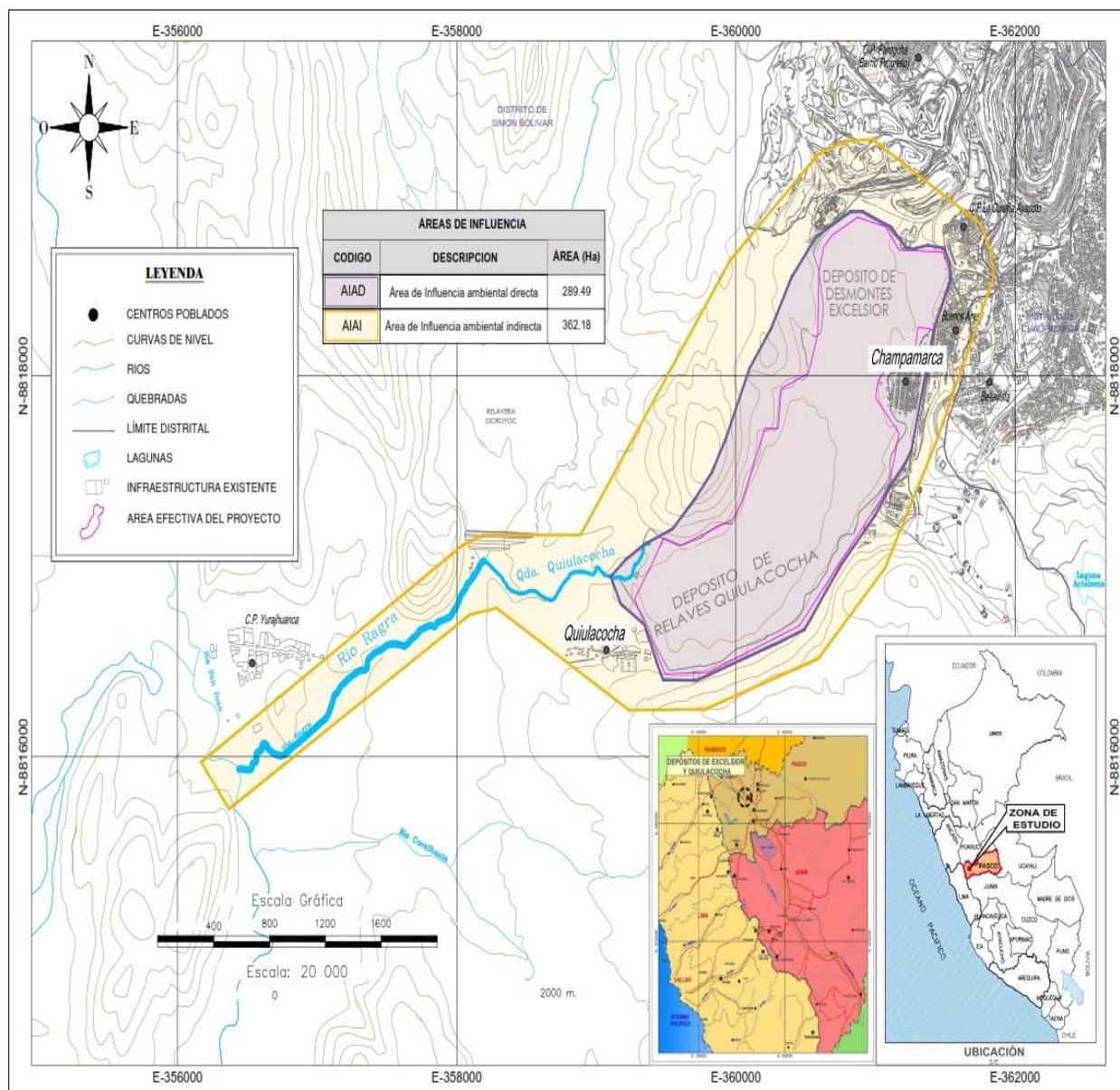
Los depósitos de relaves mineros de Quiulacocha y depósito de desmontes Excélsior están sobre un área impactada, debido a que son antiguos depósitos de desmonte y relaves. Para ello, se realizó una línea base ambiental del área de estudio.

#### 4.1.2. Ubicación Geográfica y Política

Para la ubicación geográfica y política de la zona o área de estudio ver la Figura 7.

Figura 7

Ubicación geográfica y política de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Geográficamente la zona donde se ubican los depósitos de relaves de Quiulacocho y depósito de desmontes Excelsior es en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central en la sierra central del Perú.

Políticamente se ubica en el Departamento o Región de Pasco, Provincia de Pasco y Distrito de Simón Bolívar, a una distancia aproximada de 130 km al norte de La Oroya y a 170 km (en línea recta) de la capital del Perú, Lima. Su elevación promedio sobre el nivel del mar es de 4250 m s. n. m.

El acceso a la zona de estudio desde Lima, es en primer lugar, por la vía pavimentada de la Carretera Central hasta Cerro de Pasco con una distancia de aproximadamente 310 km de Cerro de Pasco (Paragsha) hasta el área de estudio hay una distancia de 2, 7 km.

En la Tabla 1 se da la coordenada de punto central del estudio y en los anexos A,B,C,D,E,F,G y H se dan los planos de Ubicación y accesibilidad, Concesión de beneficio El metalurgista, Caracterización de suelos, Uso actual de suelos, Estaciones de muestreo de agua, aire y efluentes, Estaciones de muestreo para el potencial de neutralización y acidez, Estaciones de muestreo hidrobiológicos y Estaciones de muestreo de sedimentos.

**Tabla 1**

*Coordenada del punto central del estudio*

<b>Punto Central de la zona de estudio</b>	<b>Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S</b>		<b>Altitud (msnm)</b>
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	
	360 525	8 817 490	4250

**Fuente:** Elaboración propia.

El área del depósito de relaves Quiulacocha, es de 46 ha y el depósito de desmontes Excélsior de 12 ha, de acuerdo con el mapa del denuncia del Ministerio de

Energía y Minas, la concesión es de propiedad de ‘Víctor Ramón Justo Eduardo Freundt Orihuela’, en opción a Cerro de Pasco Resources S.A.

A continuación, se muestra en la Tabla 2 las coordenadas de los vértices de la Concesión.

**Tabla 2**

*Coordenadas de los vértices de la concesión*

Vértices	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S	
	Este	Norte
1	360984.16	8819189.61
2	361352.56	8819033.96
3	360418.66	8816827.16
4	360050.19	8816978.70
Área: 96 ha		

**Fuente:** Elaboración propia.

#### ***4.1.3. Pasivos Ambientales***

La zona de estudio donde están los Depósitos de Quiulacocha y Excélsior, se encuentra ubicada sobre los pasivos ambientales mineros del mismo nombre, los cuales son un depósito de relaves y un depósito de desmontes respectivamente.

#### ***4.1.4. Determinación del Área de Influencia Ambiental***

Considerando el grado de interrelación que tiene la zona de estudio con las distintas variables ambientales, el área de influencia ambiental se ha subdividido en dos áreas: Área de Influencia Ambiental Directa (AIAD) y Área de Influencia Ambiental Indirecta (AIAD).

Las áreas de influencia se establecieron sobre la base de las características geográficas y ecológicas y de su relación con la extensión y características, por lo cual existen diversos criterios de delimitación.

#### ***4.1.5. Criterios de delimitación del Área de Influencia Ambiental***

##### **a) Criterios Físicos**

Los criterios físicos sobre los cuales se ha determinado el Área de Influencia Ambiental del Estudio son:

- Hidrológicos e hidrogeológicos.
- La dirección predominante del viento.
- Los parámetros climáticos, precipitación, temperatura, etc.
- Geológicos, fisiográficos, edafológicos y topográficos; y
- Calidad del aire y agua.

##### **b) Criterios Biológicos.**

Los criterios biológicos para la determinación del área de influencia ambiental están referidos a la diversidad de las especies de flora y fauna encontradas y su estado de conservación en el ecosistema evaluado.

De acuerdo a los criterios se tuvieron los siguientes objetivos para la delimitación de las áreas de influencia:

- Evaluar e identificar las áreas que pueden ser impactadas directa o indirectamente por las aguas ácidas de mina;
- Evaluar el alcance de la normatividad local o internacional, o de las buenas prácticas para la zona de estudio.

#### ***4.1.6. Área de Influencia Ambiental Directa (AIAD)***

Corresponde a aquellos componentes del ambiente afectados directamente por las instalaciones y/o actividades de una empresa.

En general, el área de influencia ambiental directa se define con la superposición de las instalaciones de la empresa sobre el ámbito geográfico definido para llevarlo a cabo, así como por el área donde se manifestarán los efectos directos de su construcción y/u operación.

#### ***4.1.7. Área de Influencia Ambiental Indirecta (AIAI)***

Corresponde a la zona donde se manifiestan los impactos no producidos directamente por las instalaciones y/o actividades una empresa, es decir, los que se generan indirectamente como consecuencia de la operación y de la gestión realizada.

Desde el punto de vista ambiental, el área de influencia ambiental indirecta corresponde al área que percibe los efectos indirectos (positivos y/o negativos) de la empresa, comprende áreas cercanas al área de actividades de la empresa.

## **4.2. Aspectos Físicos**

Para el análisis de las condiciones actuales del área se determinaron las condiciones ambientales, que pueden ser afectadas por la acción de relaves y depósitos.

Los componentes físicos que se describen en el presente estudio son: Fisiografía, Geomorfología, Geología, Geodinámica Externa, Suelos, Climatología y Meteorología e Hidrología.

### **4.2.1. Fisiografía**

La fisiografía de la zona se caracteriza por presentar un contraste de superficies: montañosa y accidentada, por un lado, debido a la interacción de factores geodinámicos, geológicos y procesos tectónicos; y plano o ligeramente ondulado, al situarse dentro de una meseta altoandina. La presencia del Sistema Montañoso de los Andes que atraviesa el país origina una gran variedad de paisajes que se encuentran clasificados en base a criterios geográficos, ecológicos, geomorfológicos y altitudinales, entre otros.

La zona del estudio se encuentra en la parte occidental del departamento de Pasco y se han encontrado unidades fisiográficas colinas onduladas ligeramente disectadas, planicies aluviales y pendientes.

### **4.2.2. Geología**

Geográficamente, el área del proyecto se encuentra ubicado en el flanco oriental de la Cordillera Occidental del Centro del Perú, caracterizada en este sector por una topografía variada, donde predomina una morfología típica de origen glaciar.

La estratigrafía regional y local es conformada por el substrato del Arco Volcánico de las eras del cenozoico, mesozoico y paleozoico, constituido por unidades estratigráficas triásicas, pérmicas, devónicas y cuaternarias de origen marino y continental que corresponden a la zona de la meseta del Bombón. Las secuencias sedimentarias están constituidas por los sedimentos de la formación Casapalca, Goyllarisquizga, Chambara; así como las formaciones del grupo Excélsior. Finalmente, cubriendo en discordancia a estas secuencias, se presentan depósitos recientes constituidos por unidades hipabisales como la dacita, el cuarzo, latitas, andesitas y riodacitas.

#### Volcánico Rumiallana (Nm-r)

Esta unidad perteneciente al paleógeno de la era cenozoica, se encuentra distribuido en el sector nororiental del área de estudio, en el sector occidental de la ciudad de Cerro de Pasco. Según la descripción, esta unidad está conformada litológicamente por tobas volcánicas de colores oscuros.

#### Formación Casapalca (Kp-ca)

Esta unidad se encuentra localizada en la zona occidental, en un sector del río Ragra, y en el extremo sur-oriental, cerca de la laguna Cuchis (chico). Según la descripción, esta formación está cubierta por depósitos volcánicos del grupo Callipuy, y su litología consiste en areniscas rojas friables, suaves, margas, lodolitas y conglomerados que tienen un color rojo característico.

#### Grupo Goyllarisquizga (Kl-g)

Esta formación perteneciente al cretáceo inferior se encuentra distribuida en el sector occidental del área de estudio, abarcando la zona de confluencia de los ríos Ragra y San Juan. La litología incluye una secuencia de areniscas blancas de grano medio a grueso, también en algunas capas se puede notar capas de lutitas grises.

#### Grupo Pucará (Trj-pu)

Esta formación del jurásico inferior y Triásico superior aflora sobre un área muy pequeña, en las zonas sur y nor occidental del área de estudio. Según la descripción, esta formación suprayace comúnmente al grupo Mitu, pero también puede descansar directamente sobre los esquistos del complejo Marañón por fallamiento de bajo ángulo.

#### Grupo Excélsior (SD-e)

Las rocas de la mayor antigüedad del área compuesta de pizarras y filitas intercaladas con capas cuarcíticas. Ocupa una buena parte de la extensión de la zona de estudio. Es importante señalar que, en la zona de estudio, a nivel de geología local, destacan las fallas, fracturas secundarias y plegamientos en anticlinal y sinclinal. (INGEMMET, 1985).

#### **4.2.3. Geodinámica Externa**

Para evaluar el riesgo de geodinámica externa del área de estudio, se ha revisado y analizado la información referente a la geología, las características de las unidades geomorfológicas y el mapeo geológico-geomorfológico in situ efectuado del área y sus alrededores.

En el área de estudio no se ha observado mayores evidencias que indiquen la ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa, lo cual es favorecido por las características morfológicas descritas, así como por su pendiente, relieve y por último la cobertura vegetal que actúa como un agente amortiguador que reduce considerablemente las probabilidades de deslizamientos y derrumbes en las laderas de montañas y colinas.

#### **4.2.4. Caracterización de Suelos**

Para la caracterización de suelos dentro del área de estudio, se ha realizado el respectivo estudio de suelos.

Se realizaron cuatro (04) calicatas elaboradas por CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C. dentro del área del proyecto, con el objetivo de identificar las clases de suelo, a fin de caracterizarlos apropiadamente, y que, de esta manera, se pueda formular los lineamientos más convenientes para su conservación y recuperación. A continuación, se muestra la ubicación de las calicatas muestreadas (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Ubicación de coordenadas UTM de calicatas*

<b>Calicata</b>	<b>Coordenadas UTM WGS 84</b>		<b>Altitud (msnm)</b>
	<b>Zona 18S</b>		
	<b>Este</b>	<b>Norte</b>	
C1	360 462	8 818 048	4283
C2	360 119	8 817 842	4311
C3	360 442	8 816 790	4277
C4	360 728	8 817 122	4284

**Fuente:** Elaboración propia.

Las muestras obtenidas (horizontes identificados) para la caracterización de suelos, fueron analizadas en los laboratorios de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Las condiciones ecológicas correspondientes a las áreas directamente involucradas en el estudio son indicadores que los suelos tienen un régimen de humedad, el cual está comprendido por dos condiciones: cuando los suelos están secos por 90 o más días acumulativos al año, y cuando están húmedos por 90 o más días consecutivos al año.

Los criterios y metodologías usados para determinar la clasificación de los suelos del área de estudio siguieron las normas y lineamientos establecidos en las claves para la taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA. 2014). Asimismo, contempla las consideraciones del D.S. N° 013-2010-AG, Reglamento para la Ejecución del Levantamiento de Suelos, que se refiere a las normas y metodologías a aplicarse, según los niveles de estudio, para la ejecución, revisión y aprobación de los levantamientos de suelos a las que obligatoriamente deben sujetarse las personas naturales o jurídicas, nacionales y extranjeras que realicen esta actividad (MINAGRI, 2010).

#### ***4.2.5. Uso Actual de Suelos***

La clasificación del uso actual de suelos ha sido realizada teniendo como base la clasificación propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI), sistema que considera 9 categorías. En la Tabla 4 se muestra, las categorías identificadas de acuerdo a la clasificación de la Unión Geográfica Internacional UGI, así como sus respectivas áreas.

**Tabla 4***Categorías y áreas del uso actual de suelos identificadas en la zona de estudio*

Categorías	Subclase	Superficie	
		ha	(%)
	Zona urbana	50,6	7,77
Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Privadas	Zona de Actividad Minera	295,97	45,45
Praderas no mejoradas	Pajonal	183,11	28,12
Tierras Sin Uso y/o Improductivos	Terrenos improductivos	121,49	18,66
	Área total	651,17	100,00

**Fuente:** CICA Ingenieros Consultores S.A.C.

#### **4.2.6. Calidad Ambiental de Suelos**

El estudio sobre el contenido de metales pesados en suelos, en relación a su concentración total, se ha realizado sobre muestras representativas del suelo, para lo cual se tomaron 04 muestras; las cuales sirvieron como puntos de muestreo dentro del área de influencia ambiental indirecta del estudio.

Todos los parámetros fueron monitoreados por Corporación Laboratorios Ambientales del Perú S.A.C – CORPLAB, laboratorio que se encuentra debidamente acreditado por INDECOPI.

##### **A. Ubicación de los puntos de monitoreo**

Se establecieron cuatro (04) puntos de monitoreo en la zona de estudio (ver Tabla 5), tomando en cuenta la ubicación de los depósitos Quiulacocho y Excélsior.

**Tabla 5***Ubicación de coordenadas UTM de puntos de monitoreo de suelos*

Punto	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
C1	360 462	8 818 048	4283
C2	360 119	8 817 842	4311
C3	360 442	8 816 790	4277
C4	360 728	8 817 122	4284

**Fuente:** Elaborado por CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.**B. Parámetros de calidad de suelo**

Los parámetros de monitoreo de calidad de suelo fueron comparados de acuerdo al D.S. N° 002-2013-MINAM “Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental de Suelos” (MINAM, 2013) (Ver Tabla 6).

**Tabla 6***Estándares de calidad ambiental para suelo*

N°	Parámetros	Usos de Suelo			Método de Ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial /Parques	Suelo Comercial / Industrial /Extractivos	
<b>Inorgánicos</b>					
1	Cianuro Libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013 A/APHA- AWWA- WEF 4500 CNF
2	Arsénico Total (mg/kg MS) (2)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
3	Bario Total (mg/kg MS) (2)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
4	Cadmio Total (mg/kg MS) (2)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051

N°	Parámetros	Usos de Suelo			Método de Ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial /Parques	Suelo Comercial / Industrial /Extractivos	
5	Cromo VI (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	0,4	0,4	1.4	DIN 19734
6	Mercurio Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
7	Plomo Total (mg/kg MS) <sup>(2)</sup>	70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

DIN: German Institute for Standardization

MS: Materia seca a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe exceder 40°C, para cianuro libre se debe realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10°C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada <2mm.

Nota 2: Concentración de metales totales.

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.7. Clima y Meteorología**

La zona de estudio se encuentra en una meseta alto andina de los andes centrales, su clima se caracteriza por ser frío y seco. Presenta dos estaciones bien marcadas: una estación seca entre los meses de mayo a diciembre y una estación lluviosa de diciembre a abril.

Para un diagnóstico detallado de las condiciones meteorológicas en la zona de estudio, así como para analizar su comportamiento con las variaciones geográficas, fue necesario contar de antemano con las estaciones de medición de estos parámetros meteorológicos.

Por esta razón, a efectos de la caracterización climática, se tomó los registros de la estación meteorológica más cercana al área de estudio siendo ésta la estación Cerro de Pasco, tomando en cuenta su relación y similitud en cuanto a altitud, latitud y tipo de desarrollo vegetativo, mostrándose su descripción en la Tabla 7.

**Tabla 7***Descripción de la Estación Meteorológica Cerro de Pasco*

Estación	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción	Periodo de Registro
	Norte	Este			
Cerro de Pasco	8818757.70	363291.34	4333	Estación Climatológica	2002 – 2012

**Fuente:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

**4.2.7.1 Precipitación.** La época de avenidas se concentra en los meses de diciembre y abril mientras que, de mayo a noviembre, se producen precipitaciones moderadas.

El registro de precipitaciones de la Estación Meteorológica de Cerro de Pasco, muestra que durante el periodo del 2002 al 2012 la precipitación promedio mensual mínima ocurre durante el mes de Julio (15,6 mm) y la precipitación promedio mensual máxima se registró en el mes de Marzo (135,5 mm) tal como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8***Precipitación Total Mensual en mm - Estación Cerro de Pasco (2002-2012)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
<b>2002</b>	37,0	172,5	150,1	72,8	44,3	10,9	41,7	11,6	52,0	136,2	100,5	131,8	961,4
<b>2003</b>	124,2	125,6	174,7	114,0	39,2	26,2	5,0	20,2	50,7	24,8	98,4	141,9	944,9
<b>2004</b>	69,6	163,9	69,1	62,0	36,7	30,6	24,0	29,6	112,6	88,7	130,8	151,5	969,1
<b>2005</b>	93,6	138,4	159,2	53,3	12,2	6,8	7,8	20,3	32,2	79,7	85,9	85,3	774,7
<b>2006</b>	97,2	110,4	150,4	97,0	13,3	37,9	5,6	15,1	62,7	169,0	134,2	126,4	1019,2
<b>2007</b>	92,8	76,4	183,9	80,5	63,9	0,0	17,1	5,4	30,4	88,0	101,1	97,4	836,9
<b>2008</b>	135,8	94,1	50,2	63,7	11,6	26,8	6,2	13,2	58,4	103,3	68,8	83,0	715,1
<b>2009</b>	119,4	116,4	188,2	54,2	34,7	30,3	23,0	58,8	21,4	68,8	135,4	213,0	1063,6
<b>2010</b>	178,0	123,3	126,5	59,9	17,0	2,0	9,6	0,0	23,7	101,2	73,1	120,0	834,3
<b>2011</b>	165,8	164,0	149,3	65,7	25,6	0,0	15,6	12,9	60,3	74,0	76,5	191,7	1001,4
<b>2012</b>	152,6	166,6	88,4	104,7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	512,3
<b>Prom</b>	115,1	132,0	135,5	75,3	29,9	17,2	15,6	18,7	50,4	93,4	100,5	134,2	875,7

**Fuente:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

**4.2.7.2 Temperatura.** La temperatura es la variable meteorológica relacionada a las variaciones altitudinales. De acuerdo a la estación meteorológica de Cerro de Pasco en los meses de junio a agosto las temperaturas bajan, ver Tabla 9.

**Tabla 9**

*Temperatura Mensual en °C - Estación Cerro de Pasco (2002-2012)*

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2002</b>	6,0	5,4	5,5	5,2	5,0	4,0	3,6	3,7	4,5	4,6	5,2	5,7
<b>2003</b>	5,9	5,5	5,2	5,2	4,9	4,4	3,7	3,8	4,6	5,5	5,5	5,1
<b>2004</b>	5,6	5,3	5,5	5,3	5,0	3,3	3,5	3,1	3,9	5,1	5,4	5,6
<b>2005</b>	5,8	5,8	5,5	5,5	5,3	4,4	3,9	3,9	4,7	5,3	5,7	5,1
<b>2006</b>	5,3	5,7	5,3	5,2	4,6	4,1	3,2	4,2	4,4	5,1	5,1	5,5
<b>2007</b>	6,0	5,6	5,1	5,2	5,0	4,2	3,8	4,6	4,3	5,0	5,3	5,4
<b>2008</b>	5,1	5,0	4,8	4,9	4,6	4,3	4,0	4,8	4,9	5,4	6,0	5,6
<b>2009</b>	5,3	5,2	5,1	5,2	4,9	4,6	4,0	4,7	5,7	5,7	6,4	5,7
<b>2010</b>	5,7	6,5	6,6	6,3	6,3	5,1	5,2	4,8	5,3	5,7	5,7	5,3
<b>2011</b>	4,8	4,5	5,0	5,0	5,2	5,0	4,3	5,3	5,0	5,6	6,4	5,0
<b>2012</b>	5,5	5,1	5,1	5,0	S/D							
<b>Prom</b>	5,5	5,4	5,3	5,3	5,1	4,3	3,9	4,3	4,7	5,3	5,7	5,4

**Prom**= Promedio

**Fuente:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

De los datos mostrados se aprecia que la temperatura es casi constante a lo largo del año, siendo la temperatura promedio anual de 5 °C. La temperatura máxima promedio mensual es de 5,7 °C en el mes de noviembre y la temperatura mínima promedio mensual es de 3,9 °C en el mes de julio.

En términos de estacionalidad, de manera general se desprende que los meses más fríos se encuentran en el periodo de mayo a septiembre (temporada de estiaje), mientras en los meses de octubre a abril se encuentran las temperaturas más altas (temporada de avenidas).

**4.2.7.3. Humedad relativa.** La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

El análisis de la humedad relativa se realizó en base a los datos de la Estación Cerro de Pasco durante el periodo 2002-2012, se puede manifestar que la humedad relativa se presentó ligeramente mayor durante la época de verano, el promedio anual es de 83,6%.

En promedio los valores más altos se registran entre diciembre y abril y los más bajos en la época de mayor frío con un promedio de 82,3% en el mes de agosto (Tabla 10).

**Tabla 10**

*Humedad elativa mensual en % - Estación Cerro de Pasco (2002-2012)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2002	83,3	88,0	88,0	86,5	86,3	86,5	87,4	85,9	85,8	86,6	86,6	85,9
2003	86,3	87,4	87,7	87,6	87,0	85,3	86,3	86,0	84,7	83,3	83,1	87,0
2004	83,1	86,0	85,9	85,8	83,7	83,4	82,9	81,0	82,6	84,2	83,7	82,9
2005	81,5	84,4	86,3	84,6	82,6	82,4	80,5	79,6	82,4	84,0	82,9	85,3
2006	85,4	86,2	87,1	85,8	83,5	85,2	84,8	84,7	83,9	85,1	85,3	84,8
2007	84,5	84,8	86,2	85,1	83,4	82,3	83,6	81,7	84,8	83,5	82,5	82,1
2008	85,4	84,8	84,4	83,7	82,6	82,3	82,2	80,0	81,1	82,3	80,7	81,5
2009	82,7	83,8	84,0	83,5	82,9	82,1	81,9	82,2	80,8	81,5	81,2	83,7
2010	83,3	80,8	80,7	80,3	78,4	79,6	78,6	79,0	79,6	78,9	80,5	82,8
2011	84,4	83,9	82,6	81,9	79,8	79,8	82,5	83,0	84,0	83,4	82,8	85,4
2012	84,3	85,4	85,1	85,6	S/D							
Prom	84,0	85,0	85,3	84,6	83,0	82,9	83,1	82,3	83,0	83,3	82,9	84,1

Prom= Promedio

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

**4.2.7.4. Velocidad y dirección del viento.** Teniendo como referencia la Estación Meteorológica Cerro de Pasco la dirección de los vientos tiene una trayectoria unidireccional, de Noreste (NE) presenta intensidades de vientos que en su mayoría oscilan entre 2,1 a 3,6 m/s.

Durante el periodo analizado el 43,2% de la intensidad del viento se encontraban en el intervalo de 0,5 – 2,1 m/s; los rangos de 2,1 – 3,6 m/s se encontraban en un 54,5% y un 2,3% se encontraban en un intervalo de 3,6 – 5,7m/s.

#### **4.2.8. Evaluación de la Calidad de Aire**

En esta parte se muestran los resultados de la evaluación de la calidad de aire en las inmediaciones de la zona de estudio. La toma de muestra fue realizada tomando en cuenta dos periodos de clima húmedo (marzo 2017) y seco (setiembre 2017), con la finalidad de establecer las condiciones iniciales del área de estudio debido a la generación de partículas y gases.

**4.2.8.1. Calidad de aire.** El diagnóstico de la línea base tiene por objeto evaluar de manera integral la calidad del aire en la zona y sus impactos sobre la salud y el ambiente. Con la finalidad de determinar la calidad de aire en el área de influencia ambiental de la zona de estudio se realizaron dos monitoreos, una en temporada de avenidas (marzo) y otra en temporada de estiaje (setiembre). Esta evaluación nos sirve para analizar y constatar de qué forma los depósitos Excélsior y Quiulacocha influye en la calidad del aire de la zona de estudio y sus alrededores.

**4.2.8.1.1. Ubicación de los puntos de monitoreo.** Se establecieron cuatro (04) puntos de monitoreo en la zona de estudio, para ello se tomó en cuenta la ubicación de los depósitos Quiulacocha y Excélsior, así como la dirección del viento y la ubicación de los poblados más cercanos a la zona. En la Tabla 11 se presenta las coordenadas y la descripción de ubicaciones de los puntos de monitoreo de aire.

**Tabla 11**

*Ubicación de los Puntos de Monitoreo de Calidad de Aire*

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Este	Norte		
A-1	359075	8816553	4255	Poblado Quiulacocha
A-2	361238	8818029	4295	Poblado Champamarca
A-3	360297	8818082	4285	Margen Derecha del Depósito de Relaves Quiulacocha
A-4	361600	8818610	4311	Entrada al Poblado Champamarca

**Fuente:** CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.2.8.1.2 Parámetros de calidad de aire.** Los parámetros de monitoreo de calidad de aire fueron de acuerdo al D.S. N° 074-2001-PCM “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire” y al D.S. N° 003-2008-MINAM “Estándares de Calidad Ambiental para Aire” (Tabla 12). Se ha considerado evaluar dichos parámetros para tener mayor información de cómo se encuentra la calidad el aire de la zona a nivel de línea base.

**Tabla 12***Parámetros de Evaluación para Calidad Ambiental de Aire*

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de Análisis
		Valor ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Formato	
<sup>(2)</sup> PM – 2.5	24 horas	50	Media aritmética	Separación inercial filtración (gravimetría)
<sup>(2)</sup> Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	80	Media aritmética	Fluorescencia UV (Método automático)
<sup>(1)</sup> Dióxido de Nitrógeno	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimiluminiscencia (Método Automático)
<sup>(1)</sup> Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces al año	Fotometría UV (Método Automático)
<sup>(1)</sup> Monóxido de Carbono	8 horas	10 000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (Método Automático)

Fuente: (1) D.S. N° 074-2001-PCM y (2) D.S. N° 003-2008-MINAM  
 NE: No Exceder El método equivalente aprobado.

**4.2.9. Hidrología**

Los ríos que se encuentran más próximos al área de estudio son el Río San Juan y el Río Ragra, asimismo también podemos encontrar a la Quebrada Quiulacocha (INGEMET,1980).

La cuenca a la que pertenece la zona de estudio se encuentra enmarcada en el sistema hidrográfico del río Mantaro.

La Cuenca Hidrográfica del Mantaro está ubicada en la región central del país y abarca los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho. El río Mantaro se origina en el Lago Junín, el cual está regulado por la presa de Upamayo.

La cuenca del área de estudio, se encuentra ubicada a una altitud aproximada de 4200 msnm. Esta cuenca es tributaria por la margen izquierda del río San Juan y tiene su

desarrollo natural desde las divisorias de los ríos que drenan al río Huallaga hasta la boquilla de cierre de la ex laguna Quiulacocha (INGEMET,1980).

Se puede decir que el total del poblado existente en la ciudad de Cerro de Pasco se encuentra en esta cuenca, en la cual se desarrolla la actividad minera debido a la presencia de los recursos minerales, llegando a ser uno de los más importantes centros mineros del país.

Debido a la situación geográfica de la cuenca, la cual se halla entre las coordenadas: 8822000N, 360000 E y 8816000N, 364000 E y a una altitud elevada, no hace posible que las actividades de ganadería y agricultura sean productivas, generando que la minería y el comercio sean las actividades más saltantes de la zona.

#### ***4.2.10. Calidad de Agua***

En esta sección se realizó la evaluación de calidad del agua de las inmediaciones de la zona de estudio. Las tomas de muestra fueron realizadas en las temporadas de avenida y estiaje, con la finalidad de establecer las condiciones iniciales en el área de estudio.

##### **4.2.10.1 Evaluación de la Calidad de Agua Superficial**

**4.2.10.1.1. Ubicación de los Puntos de Monitoreo.** Se han determinado cuatro (04) puntos de monitoreo de la calidad de agua para la zona de estudio en las épocas de avenidas y estiaje. En la Tabla 13 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo en coordenadas UTM WGS-84.

**Tabla 13***Puntos de Monitoreo de Calidad Ambiental de Agua*

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Este	Norte		
S-1	359163	8816931	4246	Inicio de la Quebrada Quiulacocha
S-2	356517	8815932	4188	Río Ragra, aguas arriba de la descarga en el Río San Juan
S-3	356361	8815986	4191	Río San Juan, aguas arriba de la descarga del Río Ragra
S-4	356445	8815815	4190	Río San Juan, aguas abajo de la descarga del Río Ragra

**Fuente:** CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.2.10.1.2 Parámetros de Monitoreo.** Los parámetros de monitoreo de calidad de agua, estará de acuerdo a los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua” dispuesto en el D.S. N° 002-2008-MINAM para la categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales).

**4.2.10.2 Efluentes en la Zona.** Dentro del área de estudio se realizó la toma de muestras de los efluentes mineros con el fin de determinar la calidad de estos y el impacto que ocasiona en el medio. Este monitoreo se realizó en los meses de marzo (temporada de avenidas) y mayo (temporada de estiaje) del 2017.

**4.2.10.2.1 Ubicación de los Puntos de Monitoreo.** Se ha determinado seis (06) puntos de monitoreo de efluentes que se encuentran alrededor de la zona de estudio. Estos efluentes vierten sus efluentes al Río Ragra que posteriormente desemboca en el Río San Juan. En la Tabla 14 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo en coordenadas UTM WGS84.

**Tabla 14***Puntos de Monitoreo de Efluentes*

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Este	Norte		
E-1	359 989	8 816 556	4269	Margen izquierda de los Depósitos
E-2	359 980	8 817 232	4267	Margen derecho de los Depósitos
E-3	359 363	8 816 796	4254	Agua de Presa
E-4	359 398	8 817 067	4257	Poza de Filtración de la Presa
E-5	360 839	8 817 562	4266	Filtraciones del Depósito de Desmonte Excélsior
E-6	360 623	8 818 298	4277	Filtraciones de Cerro S.A.C.

**Fuente:** CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.2.10.2.2. Parámetros de Monitoreo.** Los parámetros de muestreo para efluentes mineros, estarán de acuerdo a los “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas” dispuestos en el D.S. N° 010-2010-MINAM.

#### **4.2.11 Pruebas de Potencial de Neutralización y Acidez Máxima**

**4.2.11.1. Puntos de muestreo.** Con el objetivo de determinar el potencial de neutralización, potencial ácido y potencial neto de neutralización de muestras de suelo representativas del Depósito de Relaves Quiulacocha y del Depósito de Desmonte Excélsior; se tomó 4 muestras de suelos (2 para el depósito de relaves y otras 2 para el depósito de desmonte) cuya ubicación en coordenadas UTM se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15***Puntos de Muestreo para el Potencial de Neutralización y Acidez*

Punto de Muestreo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Este	Norte		
D1	360 889	8 817 599	4282	Depósito de Desmonte Excélsior
D2	361035	8 817 730	4300	Depósito de Desmonte Excélsior
R1	360 806	8 817 496	4263	Depósito de Relaves Quiulacocha
R2	360 568	8 817 033	4260	Depósito de Relaves Quiulacocha

Fuente: CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.2.12. Hidrobiología**

Para el estudio hidrobiológico durante la época de avenida y estiaje se establecieron cuatro (04) estaciones de muestreo; estas se eligieron siguiendo los criterios de inclusión de cuerpos de agua localizados en el área de influencia del estudio, posibilidad de comparar cuerpos de agua con alta y baja probabilidad de influencia por las actividades mineras y fácil acceso para la colecta de muestras (Tabla 16).

**Tabla 16***Estaciones Hidrobiológicas durante época de avenida y estiaje*

Estación	Ubicación	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (msnm)
		Este	Norte	
Hb-1	Inicio de la quebrada Quiulacocha	359163	8816931	4246
Hb-2	Río Ragra, antes de la descarga en el rio San Juan	356517	8815932	4188
Hb-3	Río San Juan, aguas arriba de la descarga del rio Ragra	356361	8815986	4191
Hb-4	Río San Juan, aguas abajo de la descarga del Río Ragra	356445	8815815	4190

Fuente: CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

#### 4.2.13. Sedimentos acuáticos

Para las épocas de avenida y estiaje, se realizó el muestreo en cuatro (04) estaciones (ver Tabla 17); estas se eligieron siguiendo los criterios de inclusión de cuerpos de agua localizados en el área de influencia del estudio, posibilidad de comparar cuerpos de agua con alta y baja probabilidad de influencia por las actividades mineras y fácil acceso para la colecta de muestras.

Debido a que en el Perú no existe legislación que establezca estándares para la calidad de los sedimentos, por lo cual los resultados se han comparado con los estándares recomendados por las Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGS, 2003), estas establecen dos tipos de estándares: Interim Sediment Quality Guidelines (ISQG; por debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos) y los Probable Effect Level (PEL; sobre las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia).

**Tabla 17**

*Estaciones de sedimentos Acuáticos en épocas de avenida y estiaje*

Estación	Ubicación	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 18S		Altitud (m.s.n.m.)
		Este	Norte	
Hb-1	Inicio de la quebrada Quiulacocha	359163	8816931	4246
Hb-2	Río Ragra, antes de la descarga en el rio San Juan	356517	8815932	4188
Hb-3	Río San Juan, aguas arriba de la descarga del rio Ragra	356361	8815986	4191
Hb-4	Río San Juan, aguas abajo de la descarga del Río Ragra	356445	8815815	4190

Fuente: CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.2.13.1. Norma Referencial.** Para la medición de los parámetros fisicoquímicos en sedimentos se usó The Canadian Sediment Quality for the Protection of Aquatic Life,

(EQG: Canadian Environmental Quality Guidelines), la cual es una norma que nos brinda dos valores específicos con relación a los parámetros de evaluación en sedimentos, estos dos valores son el ISQG (Interm sediment quality guidelines) Límite debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos y el PEL (Probable Effect Level), el cual nos brinda información acerca de las concentraciones sobre las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia (Valor obtenido estadísticamente en base a ensayos ecotoxicológicos).

#### 4.3. Resultados de muestreo de calidad de suelo

En la Tabla 18 se presenta los resultados de las concentraciones de los parámetros evaluados, siendo comparados con el D.S. N° 002-2013-MINAM.

**Tabla 18**

*Resultados del Monitoreo de la Calidad de Suelos*

Parámetro	Punto de muestreo				ECA De Suelos		
	C1	C2	C3	C4	E: Suelo Comercial / Industrial /Extractivos	N	T
Cianuro Libre	ND	ND	ND	ND	8	-	-
Arsénico	34,5	265	204,9	111,5	140	5	15
Bario	79,1	392,4	64,27	168,2	2000	200	750
Cadmio	ND	14,94	7,9	7,95	22	0,5	1
Cromo VI	ND	ND	ND	ND	1,4	20	0,4
Mercurio	1,02	0,46	2,38	1,23	24	0,1	0,1
Plomo	176	2073	866,9	246,6	1200	70	100
<b>E: Valor ECA de Suelos; N: Concentración normal en suelos; T: Valor tóxico para las plantas; ND: No detectado</b>							

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Resultados de muestreo de calidad de aire

Se tomaron muestras de las cuatro estaciones de monitoreo tanto en temporada de avenidas (marzo) como en temporada de estiaje (setiembre), las cuales se encuentran en el entorno de los depósitos Quiulacocha y Excélsior. Todos los parámetros fueron monitoreados por el laboratorio CERTIMIN S.A., el cual se encuentra debidamente acreditado por la autoridad competente.

En las Tablas 19 y 20 se presentan los resultados de las concentraciones de los parámetros evaluados en las temporadas de avenida y estiaje respectivamente, siendo comparados con el D.S. N° 074-2001-PCM y el D.S. N° 003-2008-MINAM.

**Tabla 19**

*Resultados de la Calidad del Aire – Temporada de avenida*

<b>Parámetros</b>	<b>ECA D.S. N° 074-2001- PCM</b>	<b>ECA D.S. N° 003- 2008- MINAM</b>	<b>Unidad</b>	<b>A-1</b>	<b>A-2</b>	<b>A-3</b>	<b>A-4</b>
Material Particulado Menor a 2,5 micras (PM 2,5)	----	50	µg/m <sup>3</sup>	4,6	12,2	6,6	10,4
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	----	80	µg/m <sup>3</sup>	<13	<13	<13	<13
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	200	----	µg/m <sup>3</sup>	51	10	13	7
Monóxido de Carbono (CO)	10000	----	µg/m <sup>3</sup>	1492	1541	1475	1541
Ozono (O <sub>3</sub> )	120	----	µg/m <sup>3</sup>	<19,6	<19,6	<19,6	<19,6

**Fuente:** CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**Tabla 20***Resultados de la Calidad del Aire – Temporada de estiaje*

Parámetros	ECA	ECA	Unidad	A-1	A-2	A-3	A-4
	D.S. N° 074-2001-PCM	D.S. N° 003-2008-MINAM					
Material Particulado Menor a 2,5 micras (PM 2,5)	----	50	µg/m <sup>3</sup>	32,2	17,4	20,6	49,4
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	----	80	µg/m <sup>3</sup>	<13	<13	<13	<13
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	200	----	µg/m <sup>3</sup>	6	6	9	<4
Monóxido de Carbono (CO)	10000	----	µg/m <sup>3</sup>	1523	1501	1468	1524
Ozono (O <sub>3</sub> )	120	----	µg/m <sup>3</sup>	<19,6	<19,6	<19,6	<19,6

Fuente: CICA Ingenieros Consultores Perú S.A.C.

**4.5. Resultados del Análisis de la Calidad de Agua Superficial**

El laboratorio CERTIMIN S.A. se encargó de la toma de muestras y su respectivo análisis. En las Tablas 21 y 22 se presenta las concentraciones de cada parámetro evaluado en las temporadas de avenida y estiaje respectivamente. Estos han sido comparados con la norma respectiva (D.S. 002-2008-MINAM - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales).

**Tabla 21***Resultados de Calidad Ambiental de Agua – Temporada de avenida*

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocha	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
<b>PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS</b>							
Bicarbonatos	mg/L	370	---	74	137	94	137
Calcio	mg/L	200	---	274	58,91	49,28	58,78

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocho	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
Carbonatos	mg/L	5	---	<1	<1	<1	<1
Cloruros	mg/L	100-700	---	11	<1	<1	<1
Conductividad	us/cm	<2000	<=5000	1745	255	366	253
DBO	mg/L	15	<=15	20,8	<2,00	<2,00	<2,00
DQO	mg/L	40	40	37,5	15,38	20,33	<10
Fluoruros	mg/L	1	2	0,22	0,11	0,25	0,12
Fosfatos - P	mg/L	1	---	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Nitratos	mg/L	10	50	0,28	<0,1	<0,1	<0,1
Nitritos	mg/L	0,06	1	0,028	<0,005	0,008	<0,005
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥4	>5	3,93	4,45	4,35	4,64
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	7,05	8,15	7,23	7,5
Sodio	mg/L	200	---	10,25	1,15	2,02	1,15
Sulfatos	mg/L	300	500	775	4	97	3
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,003	0,004	<0,002	0,003
<b>PARÁMETROS METALES TOTALES</b>							
Aluminio	mg/L	5	5	1,89	0,98	0,32	0,99
Arsénico	mg/L	0,05	0,1	0,089	<0,008	0,015	<0,008
Bario total	mg/L	0,7	---	0,038	0,035	0,024	0,035
Berilio	mg/L	---	0,1	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Boro	mg/L	0,5 - 6	5	0,015	0,006	0,006	0,005
Cadmio	mg/L	0,005	0,01	0,035	<0,001	0,004	<0,001
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cobalto	mg/L	0,05	1	0,004	<0,002	0,003	<0,002
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,497	0,006	0,105	0,007
Cromo (+6)	mg/L	0,1	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hierro	mg/L	1	1	38,39	1,02	5,19	1,34
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,107	<0,004	0,004	<0,004
Magnesio	mg/L	150	150	52,76	1,61	10,1	1,89
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	13,078	0,063	2,118	0,172
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Níquel	mg/L	0,2	0,2	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Plata	mg/L	0,05	0,05	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocha	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,09	0,03	0,04	0,02
Selenio	mg/L	0,05	0,05	0,03	<0,02	<0,02	<0,02
Zinc	mg/L	2	24	11,893	0,014	1,809	0,145
<b>PARÁMETROS ORGÁNICOS</b>							
Aceites y Grasas	mg/L	1	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SAAM	mg/L	1	1	0,302	0,053	0,035	0,035
<b>PARÁMETROS BIOLÓGICOS</b>							
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	---	---	26	170	170	70
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5000	5000	70	170	460	110
Enterococos	NMP/100 ml	20	20	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100	26	170	110	49
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Salmonella sp.	Ausente		Ausencia		Ausencia	Ausencia	Ausencia
Vibrión cholerae	Ausente		Ausencia		Ausencia	Ausencia	Ausencia

**NOTA: NMP/100: Número más probable en 100ml**

**Vegetales de Tallo Alto:** Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros), Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

**Vegetales de Tallo Bajo:** Son plantas cultivables o no, frecuentemente de porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verduras de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

**Animales Mayores:** Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

**Animales Menores:** Entiéndase como animales mayores a caprinos, aves, cuyes y conejos.

**SAAM: Sustancias activas de azul de metileno**

Fuente: D. S. N° 002-2008-MINAM.

**Tabla 22**

*Resultados de Calidad Ambiental de Agua – Temporada de estiaje*

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocha	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
<b>PARÁMETROS FÍSICOS – QUÍMICOS</b>							
Bicarbonatos	mg/L	370	--	253	243	142	196

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocha	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
Calcio	mg/L	200	---	289	370	106	292
Carbonatos	mg/L	5	---	<1	<1	<1	<1
Cloruros	mg/L	100-700	---	17	15	3	18
Conductividad	us/cm	<2000	<=5000	1914	2177	681	2119
DBO	mg/L	15	<=15	36,3	38,4	<2,00	305
DQO	mg/L	40	40	63,81	78,6	<10	80,16
Fluoruros	mg/L	1	2	0,66	0,79	0,21	0,69
Fosfatos - P	mg/L	1	---	0,014	0,016	0,096	0,017
Nitratos	mg/L	10	50	<0,1	0,25	<0,1	<0,1
Nitritos	mg/L	0,06	1	<0,005	0,06	0,055	0,005
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥4	>5	5,55	5,6	8,1	5,39
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	7,68	8,04	8,31	7,79
Sodio	mg/L	200	---	17,97	18,01	5,04	19,8
Sulfatos	mg/L	300	500	995	1285	259	1323
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,003	0,281	0,003	0,068
<b>PARAMETROS METALES TOTALES</b>							
Aluminio	mg/L	5	5	0,75	6,71	0,11	3,5
Arsénico	mg/L	0,05	0,1	0,023	0,188	<0,008	0,107
Bario total	mg/L	0,7	---	0,057	0,199	0,047	0,156
Berilio	mg/L	---	0,1	<0,0003	0,0005	<0,0003	<0,0003
Boro	mg/L	0,5 - 6	5	0,026	0,034	0,017	0,032
Cadmio	mg/L	0,005	0,01	0,025	0,062	<0,001	0,026
Cianuro Wad	mg/L	0,1	0,1	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cobalto	mg/L	0,05	1	0,003	0,004	0,003	0,006
Cobre	mg/L	0,2	0,5	0,089	2,453	0,073	1,27
Cromo (+6)	mg/L	0,1	1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Hierro	mg/L	1	1	16,81	25,74	0,78	15,46
Litio	mg/L	2,5	2,5	0,103	0,126	0,019	0,094
Magnesio	mg/L	150	150	67,19	94,84	26,3	104
Manganeso	mg/L	0,2	0,2	9,049	15,288	4,289	17,476
Mercurio	mg/L	0,001	0,001	0,0005	0,0368	0,0005	0,03
Níquel	mg/L	0,2	0,2	0,009	0,011	0,005	0,014
Plata	mg/L	0,05	0,05	<0,002	0,014	<0,002	0,009

Parámetros	Unidades	Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM)		Estaciones			
		Categoría 3: Riego de vegetales	Categoría 3: Bebida de animales	S-1	S-2	S-3	S-4
				Inicio de la Quebrada Quiulacocho	Río Ragra, aguas arriba descarga del Río San Juan	Río San Juan, aguas arriba descarga del Río Ragra	Río San Juan, aguas debajo descarga del Río Ragra
Plomo	mg/L	0,05	0,05	0,04	1,24	<0,01	0,65
Selenio	mg/L	0,05	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Zinc	mg/L	2	24	5,786	9,51	0,597	5,369
<b>PARAMETROS ORGÁNICOS</b>							
Aceites y Grasas	mg/L	1	1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
SAAM	mg/L	1	1	0,885	0,276	0,034	0,546
<b>PARÁMETROS BIOLÓGICOS</b>							
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	---	---	49000	79000	11	7000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	5000	5000	130000	130000	49	33000
Enterococos	NMP/100 ml	20	20	130000	130000	2300	33000
Escherichia coli	NMP/100 ml	100	100	49000	2100	11	1700
Huevos de Helminetos	huevos/litro	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Salmonella sp.	Ausente			Ausencia	Presencia	Ausencia	Ausencia
Vibrio cholerae	Ausente			Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

**NOTA: NMP/100: Número más probable en 100mL**

**Vegetales de Tallo Alto:** Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros), Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc. **Vegetales de Tallo Bajo:** Son plantas cultivables o no, frecuentemente de porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verduras de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

**Animales Mayores:** Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

**Animales Menores:** Entiéndase como animales mayores a caprinos, aves, cuyes y conejos.

**SAAM: Sustancias activas de azul de metileno**

Fuente: D. S. N° 002-2008-MINAM.

#### 4.6. Resultados del Análisis de Efluentes Mineros

Los resultados de los puntos de muestreo de los efluentes mineros son comparados con la norma “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas” (D.S. N° 010-2010-MINAM).



Parámetros de Monitoreo	UNIDADES	LMP para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas	Estaciones de Monitoreo					
			E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Cianuro Total	mg/L	1	<0,005	<0,005	0,066	0,062	<0,005	0,07
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,137	<0,008	2,914	0,224	3,075	2,75
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,01	0,015	1,723	2,244	0,923	1,898
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Cobre Total	mg/L	0,5	0,337	0,093	18,805	8,905	<0,003	18,251
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	14,4	2,23	2883	2743	3772	4176
Plomo Total	mg/L	0,2	0,09	0,07	0,93	1,21	1,35	1,18
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,001	<0,0005	0,0025	0,0019	0,0018	0,0012
Zinc Total	mg/L	1.5	2,627	10,627	1099	1027	1390	1060

Fuente: D. S. N° 010-2010-MINAM

#### 4.7. Resultados de Potencial de Neutralización y Acidez Máxima

Los resultados se pueden apreciar en la Tabla 25.

**Tabla 25**

*Resultados de laboratorio de Potencial de Neutralización y Acidez*

Muestra	Potencial (t CaCO <sub>3</sub> /1000t)			Relación PN/MPA	pH Pasta
	NNP	PN	MPA		
D1	45	414	369	1	6,72
D2	75	442	367	1	7,44
R1	-908	5	912	0	4,64
R2	-615	-23	592	0	2,47

NNP: Potencial de Neutralización Neto

PN: Potencial de Neutralización

MPA: Potencial Máximo de Acidez

#### 4.8. Resultados Hidrobiológicos

##### • Fitoplancton

Se denomina fitoplancton o plancton vegetal, al conjunto de microorganismos autótrofos (microalgas, cianobacterias, flagelados y otros grupos sin clorofila) capaces de

realizar la fotosíntesis, los cuales viven suspendidos en la masa de agua. Este es usado ampliamente como indicador del estado trófico de las masas de agua relacionado con contaminación, cambios en la mineralización del agua y en cambios en la tasa de renovación de agua de lagos y embalses.

- Zooplancton

Tradicionalmente, se ha dividido a la comunidad planctónica en fitoplancton o plancton vegetal y en zooplancton o plancton animal. Se denomina zooplancton a la fracción del plancton constituida por seres que se alimentan, por ingestión de materia orgánica ya elaborada. Está constituido por protozoos, es decir, protistas diversos, fagótrofos que engloban el alimento fagocitándolo. También por larvas de animales más grandes, como esponja, gusanos, equinodermos, moluscos o crustáceos, y de otros artrópodos acuáticos, así como formas adultas de pequeño tamaño de crustáceos, como copépodos o cladóceros, rotíferos, y fases juveniles de peces (alevines).

Son heterótrofos que en la cadena trófica ocupan las primeras posiciones de consumidores, alimentándose de los productores primarios (componentes del fitoplancton), de organismos descomponedores, como bacterias, o de otros componentes del zooplancton. Algunos se alimentan de residuos orgánicos particulados (Wikipedia, 2018).

- Bentos

Se denomina macrozoobentos al grupo de organismos invertebrados (moluscos, lombrices, sanguijuelas, platelmintos, crustáceos, ácaros y estados juveniles de varios insectos) que habitan en o sobre el fondo de cuerpo de agua, y que por su tamaño

relativamente grande son retenidos por redes de tamaño de malla de 250 a 300  $\mu\text{m}$ . Son visibles al ojo humano, no muy inferiores de 0,5 mm, pero habitualmente mayores de 3 mm.

#### **4.9. Resultados de Sedimentos Acuáticos**

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos en sedimentos se usó The Canadian Sediment Quality for the Protection of Aquatic Life, (EQG: Canadian Environmental Quality Guidelines), la cual es una norma que nos brinda dos valores específicos con relación a los parámetros de evaluación en sedimentos, estos dos valores son el ISQG (Interm sediment quality guidelines) Límite debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos y el PEL (Probable Effect Level), el cual nos brinda información acerca de las concentraciones sobre las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia (Valor obtenido estadísticamente en base a ensayos ecotoxicológicos).

#### **4.10. Resultados sobre el Sistema de Tratamiento de aguas ácidas**

El sistema de tratamiento elegido es el de Canal o drenaje óxico calizo. Es un canal cuyo lecho este relleno de caliza por el que fluye el agua a tratar, cuyo objetivo es incrementar la alcalinidad para disminuir la acidez. El elevado contenido de oxígeno, produce la oxidación e hidrólisis del Fe y Al disueltos, que precipitan como oxihidróxidos. Su diseño esta en función del tiempo de retención ( $t_r$ ) y caudal a tratar ( $Q$ ):

$$M_s = Q[(t_l \cdot C/x) + (t_r \cdot D/n)]$$

donde:  $M_s$  = cantidad de caliza requerida  $t_l$  = vida del dispositivo  $C$  = alcalinidad deseada en el efluente  $x$  = pureza de la caliza (moles de carbonato)  $D$  = densidad de partícula  $n$  = porosidad del medio (Aduvire, 2006).

## **V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. Sobre calidad de suelo**

Los análisis de los parámetros realizados en los puntos de monitoreo, tuvieron resultados en los que se muestran que las concentraciones de partículas de los diferentes parámetros, NO EXCEDEN el estándar de calidad de suelo, según lo dispuesto en el D.S. N° 002-2013-MINAM, excepto en el parámetro Arsénico en los puntos C2 y C3 y en el parámetro plomo en el punto C2, esto debido a la presencia de depósitos de desmonte y relaves antiguos que se emplazan sobre esta zona mineralizada.

### **5.2. Sobre calidad de aire**

Los análisis de los parámetros realizados en los puntos de monitoreo tanto en temporada de estiaje como en temporada de avenidas, tuvieron resultados en los que se muestran que las concentraciones de partículas de los diferentes parámetros, no exceden el estándar de calidad de aire, según lo dispuesto en el D.S. N° 074-2001-PCM y en el D.S. N° 003-2008-MINAM.

### **5.3. Sobre calidad de agua superficial**

En las Tablas 21 y 22 se presenta la comparación de los resultados, observando que los parámetros se encuentran cumpliendo con el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Alto y Tallo Bajo) y Bebida de Animales, a excepción de los parámetros siguientes:

### **Temporada de avenidas**

- El parámetro de calcio (Ca), en la estación de monitoreo S-1; el resultado se encuentra por encima del límite establecido por la norma para la Subcategoría de Bebida de Animales.
- Los parámetros demanda bioquímica de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto (OD), sulfatos, en la estación S-1; se encuentra fuera del límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- El parámetro de arsénico (As), en la estación S-1; se encuentran por encima del límite máximo establecido por la norma para la sub categoría de riego de vegetales.
- Los parámetros cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn), en la estación S-1, se encuentran por encima del límite máximo establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- El parámetro hierro (Fe), en las estaciones S-1, S-2, S-3, S-4, se encuentran por encima del límite establecido por la norma para las subcategorías de riego de vegetales y bebida de animales.
- El parámetro de manganeso (Mn), en las estaciones S-1, S-3; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales).
- En cuanto a los parámetros biológicos, el parámetro *Escherichia coli*, en las estaciones S-2, S-3, sobrepasan el límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).

### **Temporada de estiaje**

- Los resultados del parámetro calcio se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la Subcategoría de Bebida de Animales en las estaciones de monitoreo S-1, S-2 y S-4.
- El parámetro conductividad se encuentra por encima del límite establecido por la norma para la Subcategoría Riego de vegetales en las estaciones de monitoreo S-2 y S-4.
- Los parámetros sulfatos, demanda bioquímica de oxígeno, y demanda química de oxígeno en las estaciones S-1, S-2 y S-4; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- El parámetro sulfuro, en las estaciones S-2 y S-4; se encuentran ligeramente por encima del límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- En cuanto a los parámetros de los metales totales, en la estación S-1, se tienen que los parámetros hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- En la estación S-2, los parámetros aluminio (Al), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), mercurio (Hg), plomo (Pb) y zinc (Zn) se encuentran por encima del límite máximo establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).

- En la estación S-3 se tiene que los parámetros en cuanto a cobre (Cu) y Manganeseo (Mn) se encuentran por encima del límite máximo establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- En la estación S-4 el arsénico (As), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el plomo (Pb) y el zinc (Zn) se encuentran por encima del límite máximo establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- Con respecto a los parámetros biológicos Coliformes totales, enterococos y *Escherichia coli*, en las estaciones S-1, S-2, S-4 sobrepasan el límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- Con respecto al parámetro *Salmonella sp.*, en la estación S-2, se sobrepasa el límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).
- Asimismo en la estación S-3, se sobrepasa el parámetro Enterococos para el límite establecido por la norma para la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales).

#### **5.4. Sobre Efluentes Mineros**

En las Tablas 23 y 24 se presentan las comparaciones de los resultados, con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas”, teniendo como resultados lo siguiente:

#### **Temporada de avenidas**

- El parámetro de pH, en las estaciones E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran fuera del rango establecido por la norma para la descarga de efluentes.

- El parámetro de sólidos totales en suspensión (STS), en todas las estaciones; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de arsénico total (As), en todas las estaciones; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de cadmio total (Cd), en las estaciones E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de cobre total, en las estaciones E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de hierro disuelto, en las estaciones E-2, E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de plomo total, en todas las estaciones; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de zinc total, en todas las estaciones; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.

### **Temporada de estiaje**

- El parámetro de pH, en las estaciones E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran fuera del rango establecido por la norma para la descarga de efluentes.

- El parámetro de sólidos totales en suspensión (STS), en las estaciones E-1, E-2, E-4, E-5 y E-6; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de arsénico total (As), en las estaciones E-1, E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de cadmio, en las estaciones, E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de cobre total, en las estaciones E-3, E-4, y E-6; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de hierro disuelto, en todas las estaciones de monitoreo; se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de plomo total, en las estaciones E-3, E-4, E-5 y E-6; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.
- El parámetro de zinc total, en todas las estaciones; se encuentran muy por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes.

### **5.5 Sobre el Potencial de Neutralización y Acidez Máxima**

De los resultados obtenidos de NNP, según se muestra en la Tabla 25 y de acuerdo a la teoría: “Una muestra es generadora neta de ácido si un NNP es menor a cero”. Por lo tanto, el valor obtenido de NNP en las muestras D1 y D2 (corresponden al Depósito de Desmonte Excélsior) no representan que son generadoras de ácido. La relación PN/MPA

muestra valores de 1 y 0 generadoras de ácido; no obstante, en las muestras R1 y R2 (Depósito de Relaves Quiulacocha) representan que sí son generadoras de ácido.

El pH en pasta arroja valores ácidos para las muestras R1, R2 y D1; sin embargo, para la muestra D2 presenta un pH base en lo cual indica que las muestras analizadas son potenciales generadores de drenaje ácido.

La metodología usada para este caso es simplificada y confiable, lo que es básico para complementar un sistema de tratamiento (Li, 2013).

### **5.6 Sobre recursos Hidrobiológicos**

Según los índices de diversidad de fitoplancton, las estaciones muestreadas, para época de avenida la diversidad varía entre media y baja, y para época de estiaje presenta una diversidad baja.

En el caso de zooplancton para las épocas de avenida y estiaje, no se realizó los cálculos de los índices de diversidad, debido a que no se registró ningún individuo en las estaciones de muestreo.

En el caso de bentos para las épocas de avenida y estiaje, no se realizó los cálculos de los índices de diversidad, debido a que no se registró ningún individuo en las estaciones de muestreo.

### **5.7 Sobre metales en sedimentos acuáticos**

- **Arsénico.** Para las épocas húmeda y seca, las estaciones muestreadas superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL, tomado del EQG.

- Cadmio. Para las épocas húmeda y seca, las estaciones muestreadas superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL, tomado del EQG.
- Cobre. Para época húmeda ninguna de las estaciones, superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL; para época seca las estaciones Hb-1, Hb-3, Hb-4 superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL y la estación Hb-2 no supera el ISQG y PEL, tomado del EQG.
- Mercurio. Para las épocas húmeda y seca, las estaciones muestreadas superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL, tomado del EQG.
- Plomo. Las estaciones Hb-1, Hb-2, Hb-3, Hb-4, superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL; para época seca las estaciones Hb-1, Hb-3, Hb-4 superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL y la estación Hb-2 supera ISQG, pero no el PEL, tomado del EQG.
- Zinc. Para época húmeda las estaciones Hb-1, Hb-2, Hb-3 superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL y la estación Hb-4 supera ISQG, pero no el PEL; para época seca las estaciones Hb-1, Hb-3, Hb-4 superan el nivel de efecto probable referencial ISQG y PEL y la estación Hb-2 no supera el ISQG y PEL, tomado del EQG.

La discusión se realizó teniendo en consideración el cumplimiento de las normas legales nacionales e internacionales vigentes.

### **5.8 Sobre el Sistema de Tratamiento de aguas ácidas**

Existen técnicas disponibles para reducir los efectos del drenaje ácido de depósitos de relaves, entendiendo que en el Perú se encuentran minerales sulfurados en

significativas proporciones en áreas húmedas con alta precipitación, haciendo de la generación de ácidos un asunto muy importante en el manejo de los relaves (MINEM, 2007).

La tecnología del control de drenaje ácido se encuentra aún en estado de investigación. Los procesos químicos y biológicos que producen drenaje ácido son en la actualidad bastante bien entendidos y la mayor parte de la investigación está dedicada a los métodos geoquímicos y analíticos para el estudio de determinados depósitos minerales y condiciones climáticas. Sin embargo, existen muy pocas minas en las cuales los métodos de control han sido integrados a las operaciones mineras desde el comienzo y son aún menos aquéllos que han aplicado métodos por un tiempo largo postclausura, donde el drenaje ácido, tiene sus efectos más persistentes y dañinos para el ambiente (MINEM, 2007).

En el Perú, no existe tecnología apropiada, que pueda asegurar la completa eliminación de drenaje ácido bajo todas las condiciones. Las medidas de control disponibles son generalmente capaces de reducir los efectos de drenaje ácido a un grado u otro, aunque es muy difícil predecir hasta dónde se puede llegar (MINEM, 2007).

Cualquier tecnología de control de drenaje ácido está influenciado fuertemente por el ambiente natural específico del lugar. Es bien conocido que las condiciones húmedas magnifican la severidad de los problemas de drenaje ácido. Las características propias del acuífero juegan un rol principal en determinar la degradación causada por drenaje ácido. Los efectos adversos de drenaje ácido, por lo tanto, dependen no solamente de los procesos en los cuales son generados y transportados, sino también de los

requerimientos del habitat de los arroyos, los usos en el consumo del agua superficial, y del desarrollo y utilización del agua subterránea (MINEM, 2007).

Los flujos superficiales acidificados provenientes de los embalses de relaves pueden ser colectados y tratados con cal de neutralización. Las plantas de tratamiento de agua son el último recurso para solucionar el problema. Ellas son costosas, requieren grandes cantidades de cal procesada proveniente de fuentes cercanas, y producen grandes cantidades de lodos con metales los cuales en sí mismos presentan problemas de disposición. Esto a su vez requiere compromisos financieros e institucionales a perpetuidad. Un tratamiento activo de agua no es en general una solución apropiada para drenaje ácido en las condiciones peruanas, excepto posiblemente para casos especiales que involucren el cuidado de minas ya abandonadas (MINEM,1997).

Considerando que los sistemas pasivos tienen mayor eficacia en el tratamiento de pequeños caudales, como los que se generan en minas abandonadas, conviene utilizarse.

La filosofía general de los tratamientos pasivos se basa en procesos físicos, químicos y biológicos que ayudan a cambiar las condiciones del Potencial Rédox (Eh) y el Potencial de Hidrógeno (pH) de las aguas ácidas de mina, de forma que se favorezca la formación de especies insolubles que precipiten como oxihidróxidos metálicos. Por lo general, en estos sistemas, se recurre al empleo de bacterias para catalizar las reacciones y acelerar los procesos que forman precipitados, así como al uso de material alcalino para neutralizar la acidez (Adivire, 2006).

Entre los métodos pasivos que más se han utilizado destacan los humedales aerobios, los humedales anaerobios o balsas orgánicas, los drenajes anóxicos calizos (ALD, Anoxic Limestone Drains), los canales óxicos calizos (OLC, Open Limestone

Drains), los sistemas sucesivos de producción de alcalinidad (SAPS, Successive Alkalinity Producing Systems). En la práctica estos métodos operan en condiciones aerobias o anaerobias y se emplean solos o combinados, dependiendo del tipo de drenaje ácido y de los requerimientos de tratamiento (Aduvire, 2006).

Los sistemas pasivos incluyen poco mantenimiento a largo plazo, por lo tanto cumplen con el objetivo de cierre de tipo abandono (Villanueva & Sánchez, 2013).

## VI. CONCLUSIONES

- La zona de estudio está contaminada, pues con respecto al suelo los parámetros arsénico (As) y plomo (Pb) exceden el estándar de calidad de suelo, D.S. N° 002-2013-MINAM, debido a la presencia de depósitos de desmonte y relaves antiguos que se emplazan sobre esta zona mineralizada; con respecto a las aguas superficiales, en la temporada de avenida, el arsénico (As), cobre (Cu), cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) y en la temporada de estiaje, el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), aluminio (Al), arsénico (As), cobre (Cu), mercurio (Hg) y plomo (Pb) se encuentran por encima de los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua”, Categoría 3: Riego de Vegetales (Tallo Alto y Tallo Bajo) y Bebida de Animales, Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM; con respecto a los efluentes mineros, en la temporada de avenida, el parámetro de pH, sólidos totales en suspensión (STS), el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe) y zinc (Zn) y en la temporada de estiaje, el parámetro de pH, sólidos totales en suspensión (STS), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe) plomo (Pb) y zinc (Zn) se encuentran por encima del límite establecido por la norma para la descarga de efluentes, Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas”, entre ellos metales muy tóxicos por su bioacumulación en la cadena trófica; con respecto a recursos hidrobiológicos, solo en el caso de zooplancton

presentó bajo índice de biodiversidad y en zooplancton y bentos no se registró ningún individuo.

- Según la relación del potencial de neutralización y potencial máximo de acidez, el Depósito de Relaves Quiulacocha y Depósito de Desmonte Excelsior son generadores de acides, pues presentaron valores entre 0 y 1.
- Entre los sistemas de tratamiento de aguas ácidas el más indicado para este caso es el de canal o drenaje óxico calizo, pues se ajusta a un flujo superficial, implementación simple, menor costo de mantención, disponible en las zonas mineras, alta tolerancia a condiciones, climáticas variables, y se usa para pasivos ambientales.

## VII. RECOMENDACIONES

- Evaluar la contaminación ambiental, es decir, hacer un diagnóstico, en otros lugares del país donde existan depósitos de relaves abandonados y proponer sistemas pasivos de tratamiento de aguas ácidas como es el canal óxico calizo por tener muchas ventajas.
- El mantenimiento de los sistemas de tratamiento debe ser realizado por las municipalidades desde su área de medio ambiente.
- A partir del diagnóstico realizado, futuros estudios pueden considerar el empleo del canal oxico calizo, aplicando diversas pruebas pilotos para el tratamiento de drenaje de agua acida provenientes de depósitos de relaves y/o desmontes abandonados (pasivos ambientales), de esta manera determinar su rendimiento óptimo en la reducción de la acidez.

## VIII. REFERENCIAS

- Aduvire , O. (2006) *Drenaje ácido de mina generación y tratamiento*. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, España.  
[http://info.igme.es/SIDIMAGENES/113000/258/113258\\_0000001.PDF](http://info.igme.es/SIDIMAGENES/113000/258/113258_0000001.PDF)
- ECOPORTAL.NET (2006). Los problemas de la contaminación ambiental y humana.  
[https://www.ecoport.net/temas-especiales/contaminacion/los\\_problemas\\_de\\_la\\_contaminacion\\_ambiental\\_y\\_humana/](https://www.ecoport.net/temas-especiales/contaminacion/los_problemas_de_la_contaminacion_ambiental_y_humana/)
- Bazán, D. (2020) *Eficiencia de canales con dos diámetros de roca caliza en la precipitación del aluminio total y mejora del pH de las aguas ácidas del Río Negro, captadas a través del canal Mátara en el sector Canrey Chico, distrito y provincia de Recuay - Ancash, periodo setiembre - octubre 2019*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antunez De Mayolo. Huaraz, Ancash, Perú.  
[https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4240/T033\\_46709601\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4240/T033_46709601_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- El Peruano (Diario Oficial) (2001). Decreto Supremo N° 068-2001-PCM. Reglamento de la Ley sobre Conservación y Aprovechamiento Sostenible de la Diversidad Biológica.  
<http://servicio.indecopi.gob.pe/portalcpti/archivos/docs/legislacion/11-2005-1/Reglamento de la Ley 26839.pdf>
- Hurlburt, C. S. y Klein, C. (1996). Manual de mineralogía I, 4ta. Ed. Editorial Reverté,S.A. Recuperado de: [https://www.reverte.com/catalogo/ficha/manual\\_de\\_mineralogia-\\_i-561](https://www.reverte.com/catalogo/ficha/manual_de_mineralogia-_i-561)
- INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) (1980). *Estudio geodinámico de la cuenca del río San Juan. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; N° 6*.  
<http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/268>
- INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) (1985). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Cañete. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; N° 8*.  
<http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/269>
- Li, E. (2013). *Medición del potencial de generación de agua ácida para un relave en la Zona Central del Perú y sus necesidades de neutralización*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero de minas) Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/4923>

Macías, F. (1996). *Los suelos de mina: Su recuperación*. En: Aguilar, J., Martínez, A. y Roca, A., (Eds.), *Evaluación y Manejo de Suelos*, pp. 227-243.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2009) Decreto Supremo N°017-2009-AG.

Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso.

<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/per89618.pdf>

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego) (2010) D.S. N° 013-2010-AG Reglamento para la ejecución de levantamiento de suelo.

<http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds13-2010-ag.pdf>

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2008). Decreto Supremo N° 002 - 2008 – MINAM

Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua.

[www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2008-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2008-minam.pdf)

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2008). Decreto Supremo N° 003 - 2008 – MINAM

Aprueban estándares de calidad ambiental para aire. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2008-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2008-minam.pdf)

[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2008-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2008-minam.pdf)

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2009). Política Nacional del Ambiente.

<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/08/Pol%C3%ADtica-Nacional-del-Ambiente.pdf>

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2010). Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM Aprueban

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades

Mineo-Metalúrgicas. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_010-](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf)

[2010-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf)

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2011). Compendio de la Legislación Ambiental Peruana.

Volumen I Marco Normativo General. 1ra edición. MINAM.

[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio\\_01\\_-\\_marco\\_normativo\\_general\\_2.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/10/compendio_01_-_marco_normativo_general_2.pdf)

MINAM (Ministerio del Ambiente) (2013). D.S. N° 002-2013-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>

MINEM (Ministerio de Energía y Minas). (1997). *Guía ambiental para el manejo de relaves mineros*.

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>

Molina, L., Álvarez, R. (s.f.) Canal experimental para eliminación de hierro y arsénico en el agua del río Tarucachi. *Ciencia & Desarrollo*. Hemeroteca Central UNJBG.

<https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/download/97/90/159>

Oblitas, A., Rondon, J., Vela, N. y Sipaucar, M. (2019) *Diseño de un sistema de neutralización para el tratamiento y recuperación de aguas ácidas de la mina San Cristóbal de la compañía minera Volcán*. Tesis de Título Profesional. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa – Perú.

PCM (Presidencia del Consejo de Ministros) (2001). Decreto Supremo N° 074-2001- PCM. Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire.

[http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/DS-074-2001-PCM.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/DS-074-2001-PCM.pdf)

PCM (Presidencia del Consejo de Ministros) (2003). Decreto Supremo N° 085-2003- PCM Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido.

<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/D.S.-Nº-085-2003-PCM-Reglamento-de-Estándares-Nacionales-de-Calidad-Ambiental-para-Ruido.pdf>

Quimtia Industrial (2016a). Tratamiento de aguas acidas en minería: Drenaje ácido de minas. Marketing Perú. <http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/tratamiento-aguas-acidas-mineria-drenaje-acido-minas/>

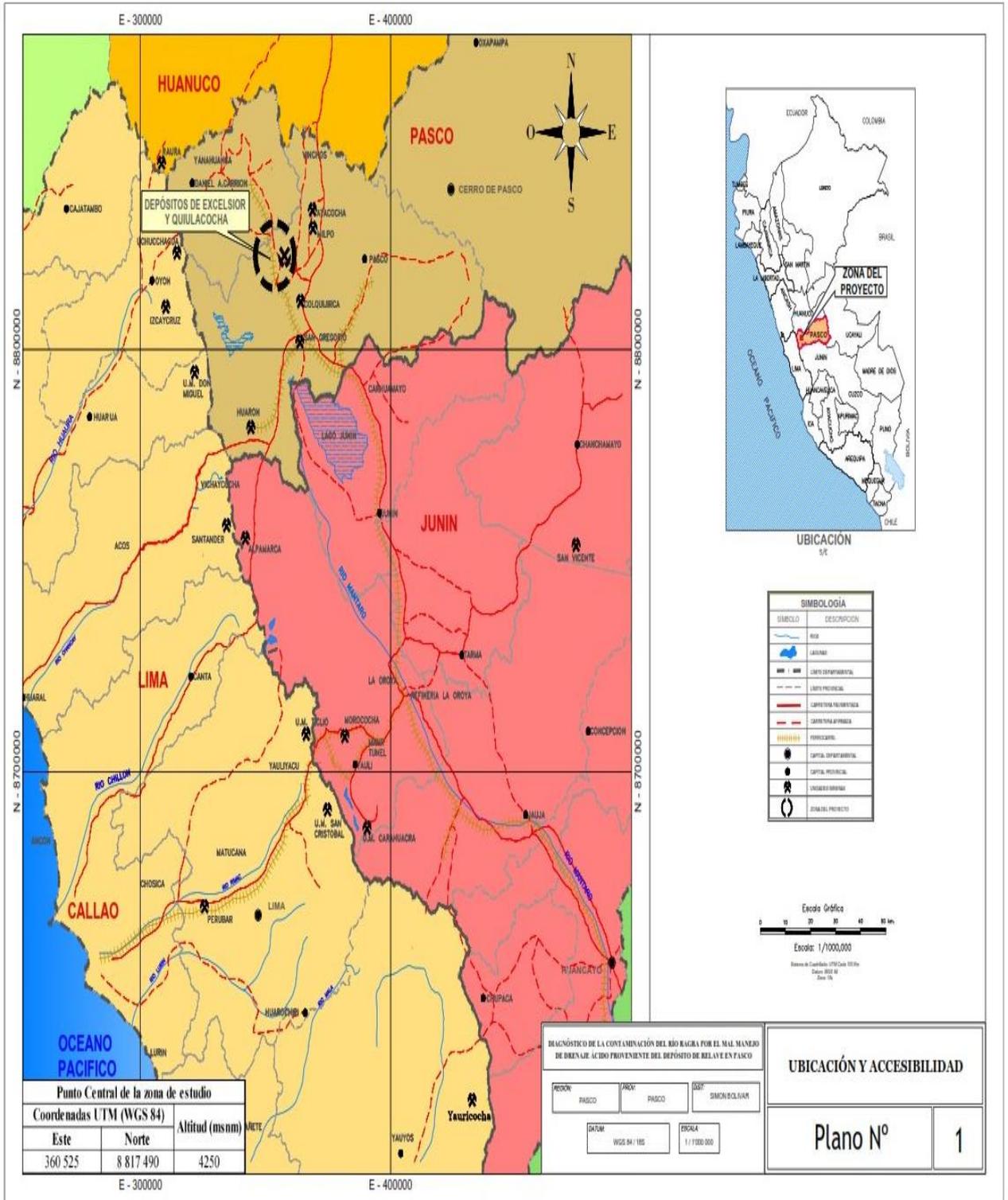
Quimtia Industrial (2016b). ¿Qué son los pasivos ambientales? Marketing Perú. [www.quimtiamedioambiente.com/blog/quimtia-medio-ambiente-tratamiento-pasivos-ambientales/](http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/quimtia-medio-ambiente-tratamiento-pasivos-ambientales/)

Quimtia Industrial (2017a). ¿En qué consiste el tratamiento de aguas ácidas? Marketing Perú. <http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/tratamiento-aguas-acidas/>

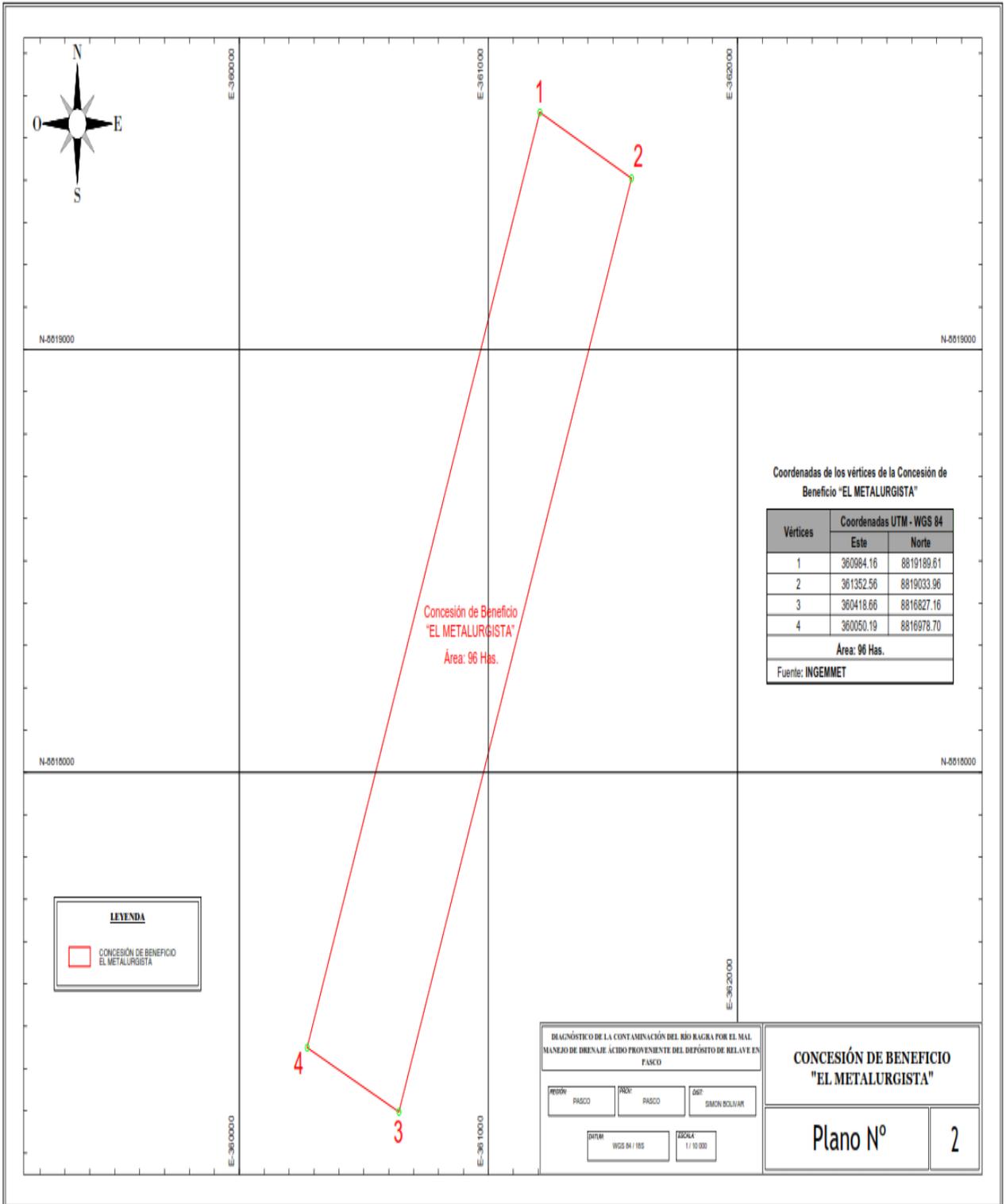
- Quimtia Industrial (2017b). Tratamiento de aguas ácidas en interior de minas. Marketing Perú.  
<http://www.quimtiamedioambiente.com/blog/tratamiento-aguas-acidas-interior-minas/>
- USDA *United States Department of Agriculture* Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Décima segunda Edición. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (USDA).  
[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051546.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf)
- Villanueva, R. & Sánchez, F. (2013). *Diseño de tratamiento pasivo después del plan de cierre de mina*. (Tesis para optar el título profesional de ingeniero sanitario). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1725>
- Wikipedia (2018). Plancton. Recuperado el 4 de octubre del 2018.  
[file:///C:/Users/walter/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\\_8wekyb3d8bwe/TempState/Downloads/Zooplancton%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/walter/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bwe/TempState/Downloads/Zooplancton%20(1).pdf)
- World Commission on Environmental and Development, (1987). *El desarrollo sostenible, una guía sobre nuestro futuro común. Our Common Future*. Oxford University Press. 383 p.  
[https://books.google.com.pe/books/about/El\\_desarrollo\\_sostenible\\_una\\_guía\\_sobre.htm?id=KcwqAAAAYAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/El_desarrollo_sostenible_una_guía_sobre.htm?id=KcwqAAAAYAAJ&redir_esc=y)

## **IX.ANEXOS**

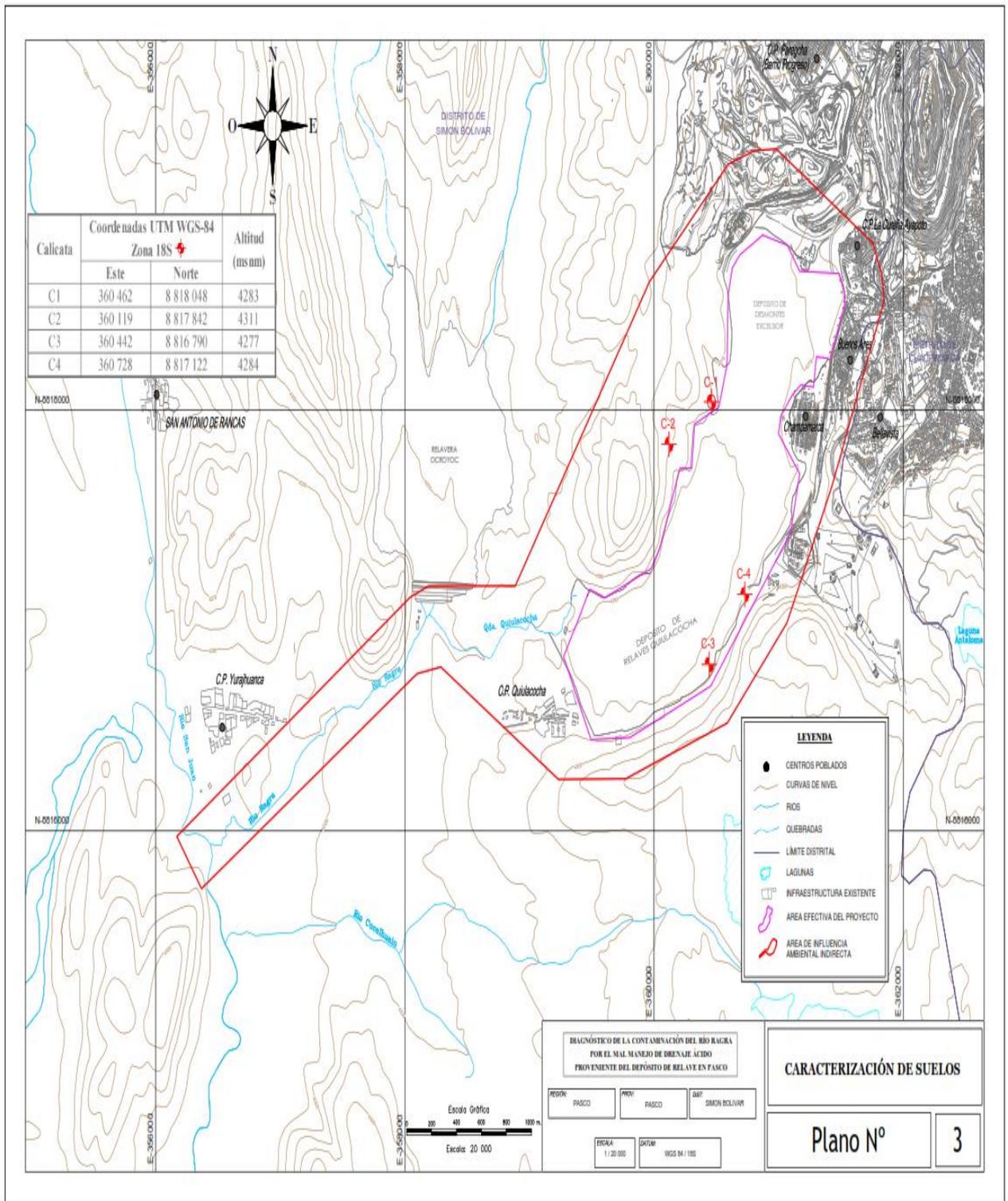
### **Anexo A: Ubicación y accesibilidad**



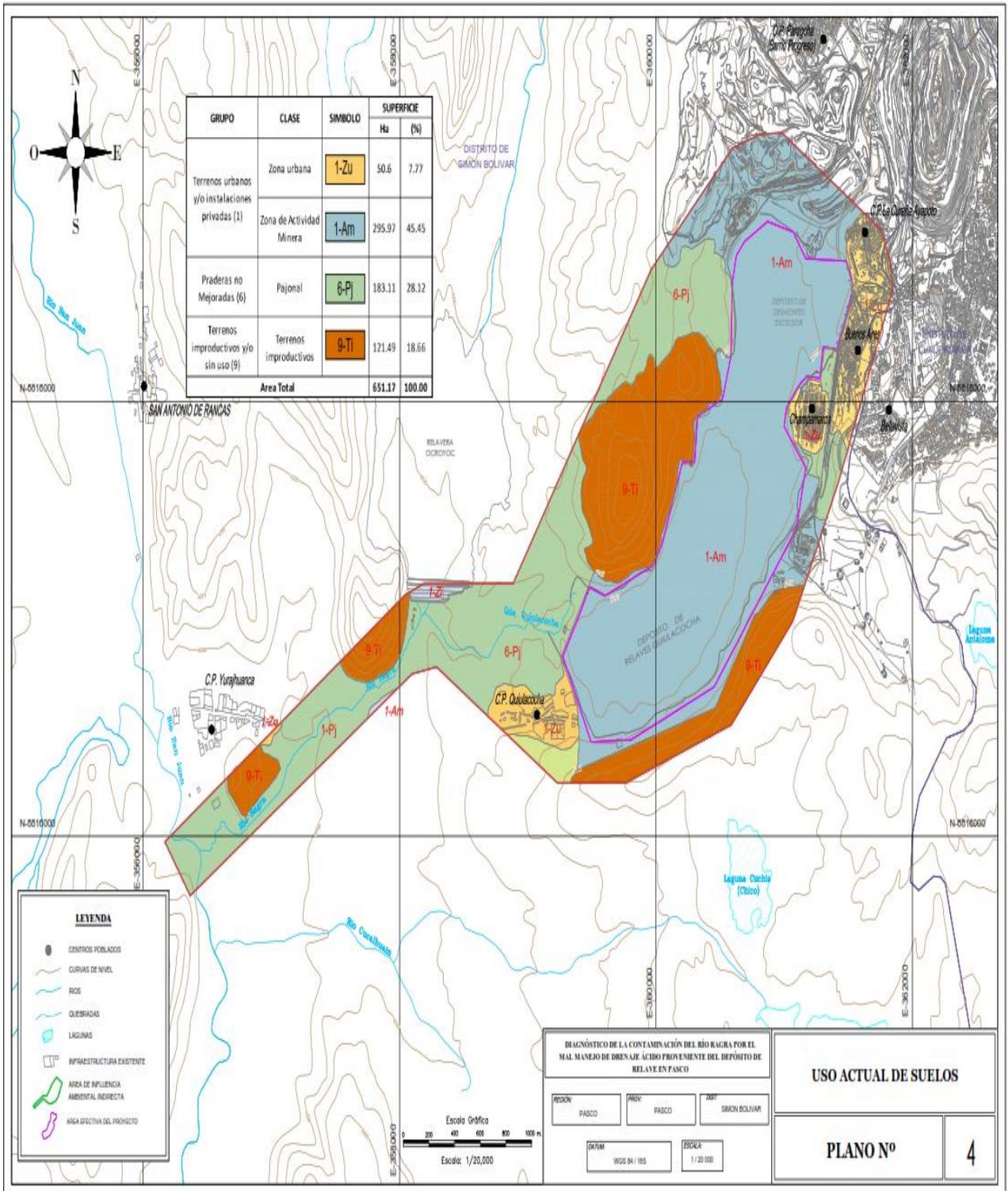
**Anexo B: Concesión de beneficio El metalurgista**



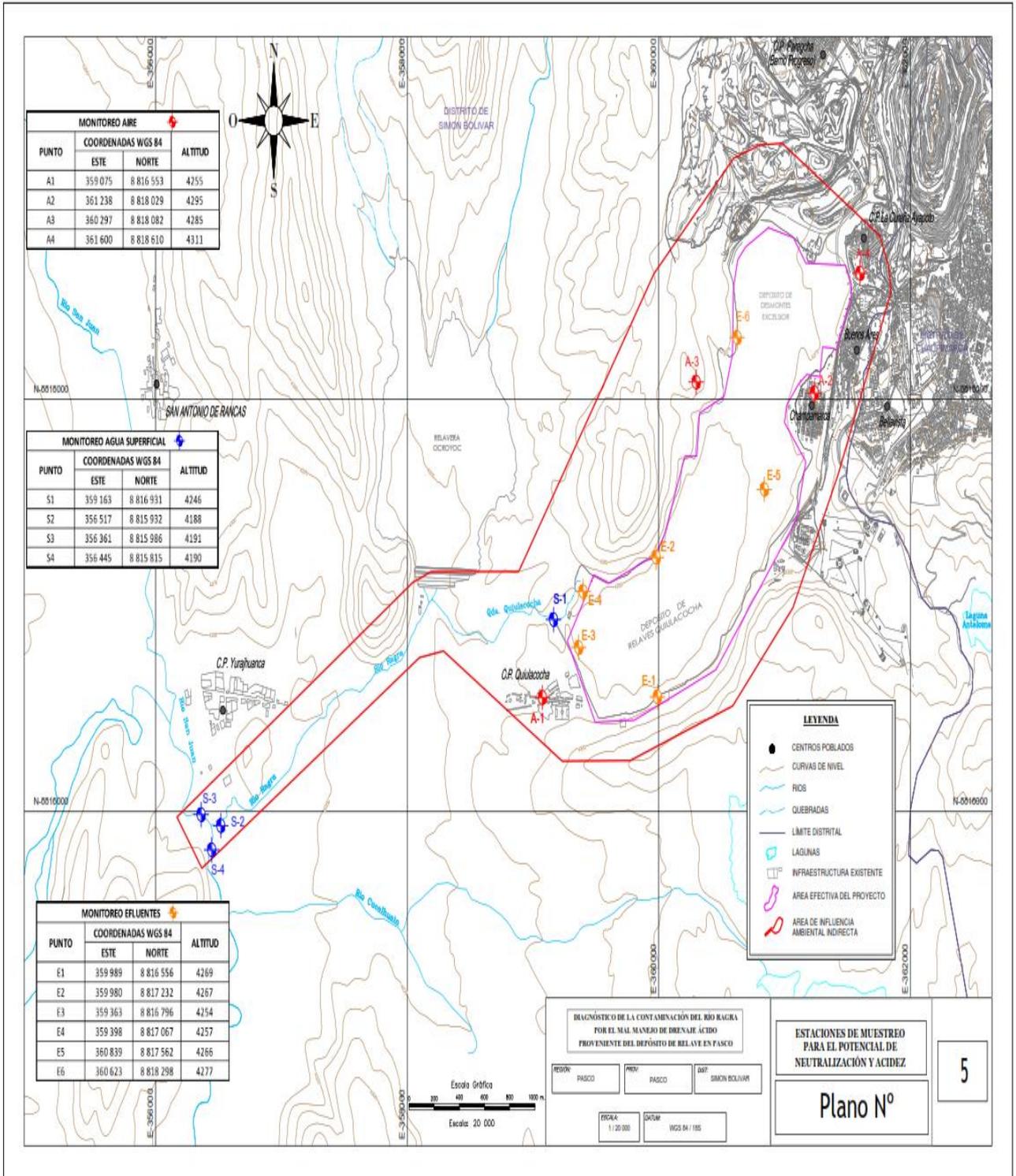
## **Anexo C: Caracterización de suelos**



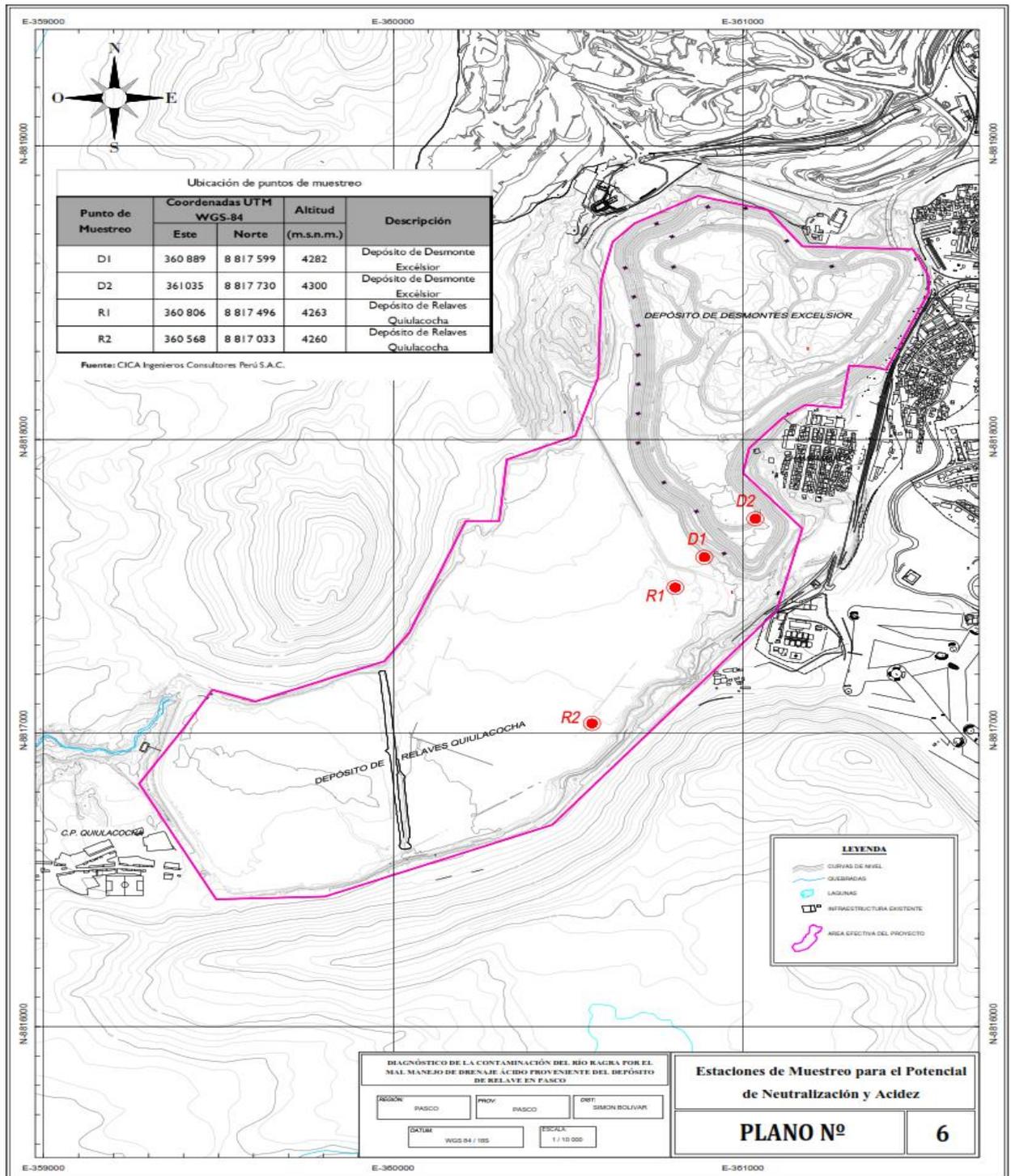
**Anexo D: Uso actual de suelos**



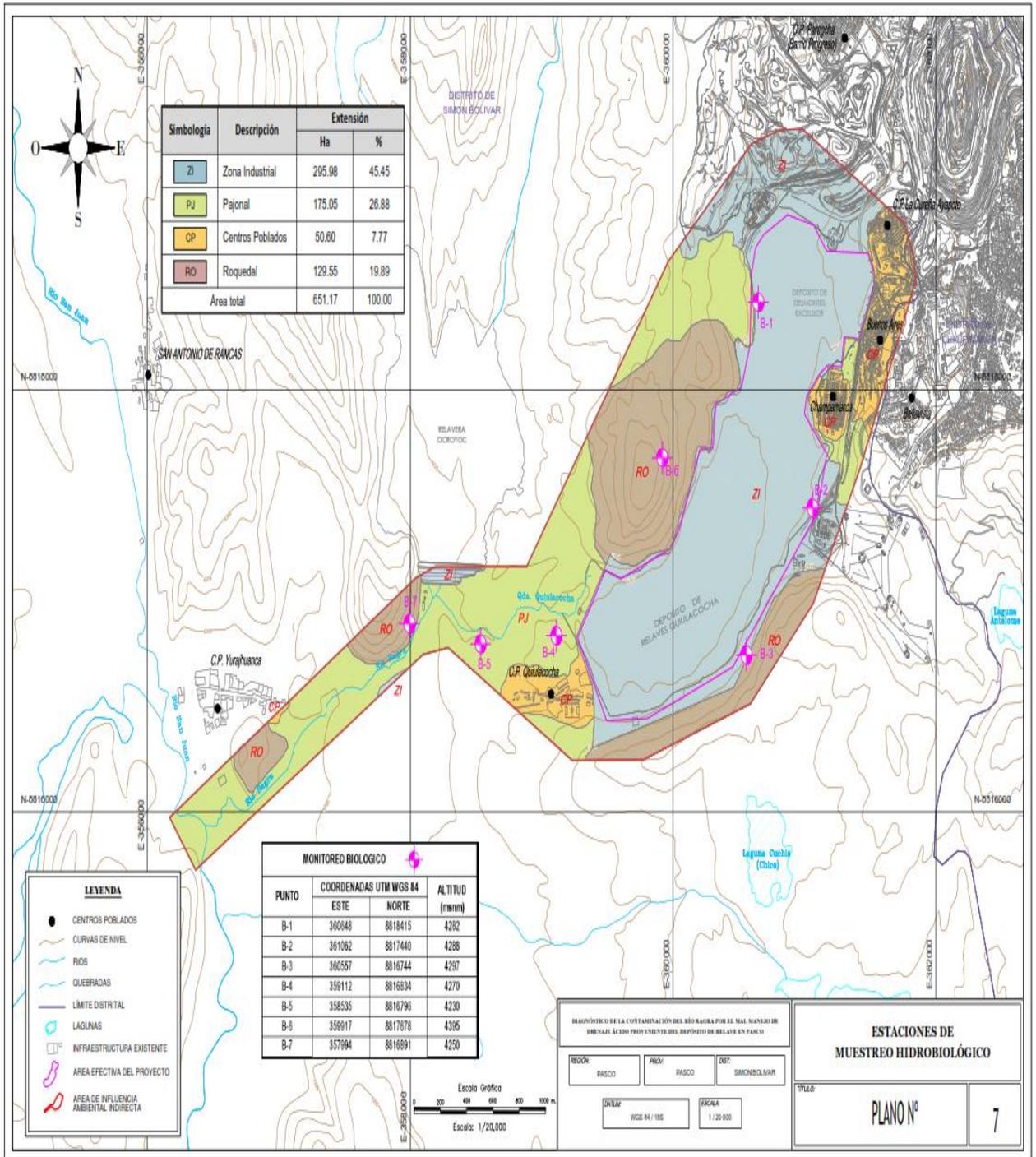
## **Anexo E: Estaciones muestreo de agua, aire, efluentes**



**Anexo F: Estaciones de muestreo para el potencial de neutralización y acidez**



## **Anexo G: Estaciones de muestreo hidrobiológicos**



**Anexo H: Estaciones de muestreo de sedimentos**

