

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

Estimación del volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco 2021

Para optar el título profesional de:
Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Jordan Joseph GRADOS PANDURO

Asesor:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

Estimación del volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco 2021

Sustentada y Aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Eleuterio Andrés ZAVALTA SANCHEZ

PRESIDENTE

Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS

MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides

Carrión Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 230-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Estimación del volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco 2021

Apellidos y nombres del tesista:

Bach. GRADOS PANDURO, Jordan Joseph

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. PACHECO PEÑA, Luis Alberto

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

16%

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 10 de diciembre del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154805046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.12.2024 18:00:03 -05:00

DEDICATORIA

A mi madre Amelia Olga Panduro Tolentino y mi hermano Bryan Matt Grados Panduro ambos son mis ángeles en el infinito, los amo tres millones.

AGRADECIMIENTO

A mi familia Panduro Tolentino y los docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental. En especial al Mg. Lucio Rojas Vitor y el Dr. Luis Alberto Pacheco Peña.

RESUMEN

La relavera Quiulacocha también es un problema ambiental en la actualidad, la relavera Quiulacocha abarca una extensión de 110 hectáreas y alberga alrededor de 70 millones de toneladas de relave que resultaron de las actividades de ex empresas Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. durante el periodo de 1943 a 1992.

La relavera en la actualidad genera drenaje ácido ya que esta se encuentra descubierto no teniendo ningún tratamiento y menos un plan de acción de cierre, en época de invierno se genera mayor volumen de drenaje ácido. Asimismo, en la actualidad se desconocía el volumen de drenaje de ácido generado y estas aguas acidas se desconoce su disposición y por otro lado también se desconoce su afectación a los factores ambientales.

La siguiente investigación asume el objetivo principal en determinar el volumen de la generación de aguas ácidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de la empresa estatal Activos Mineros y su afectación a los factores ambientales estas ubicados en el distrito de Simón Bolívar; provincia de Pasco.

En la investigación realizada se tiene como resultado el caudal máximo calculado que es de 1.675 m³/s, de ello calculando por el tiempo de precipitación generado en el los 12 meses del año 2021 en total de 12 324 minutos de lluvia, teniendo como resultado el caudal de agua acida de 1,238,562 m³ generada en la relavera de Quiulacocha producto de la lluvia y escorrentía en el exterior. Para nuestra investigación se utilizó el software HIDROESTA donde se calculó el volumen de aguas acidas para ello se alimentó la información de cálculo de intensidad (I), cálculo del coeficiente de escorrentía (C) y área de la relavera Quiulacocha. Por otro lado, también se utilizó el programa ArcGis para el cálculo de área donde en esta última comprende, desde el contorno de los relaves hasta el contorno de las cunetas de coronación, esta área en estudio se considera ya que en esta zona cae las

precipitaciones y son arrastrados llegando estas aguas a la relavera, lo cual también cuenta para calcular el volumen de la generación de aguas acidas por la relavera Quiulacocha, el área en el programa ArcGis donde se tiene 129.34 hectáreas.

Palabras claves: Aguas acidas, caudal máximo, cálculo de intensidad, cálculo del coeficiente de escorrentía y área de la relavera Quiulacocha y software HIDROESTA.

ABSTRACT

The Quiulacocha tailings dam is also an environmental problem today, the Quiulacocha tailings dam “has an area of 110 hectares and has approximately 70 million tons of tailings resulting from the operations of Cerro de Pasco Cooper Corporation and Centromín Perú S.A. between the years 1943 to 1992.

The tailings dam currently generates acid drainage since it is discovered without any treatment and even less a closure action plan. In winter, a greater volume of acid drainage is generated. Likewise, currently the volume of acid drainage generated was unknown and its disposition of these acidic waters is unknown and on the other hand its impact on environmental factors is also unknown.

The following research assumes the main objective of determining the volume of acid water generation by the Quiulacocha tailings dam owned by the state company Activos Mineros and its impact on the environmental factors located in the district of Simón Bolívar; province of Pasco.

The research carried out results in the calculated maximum flow rate of 1,675 m³/s, calculating this by the time of precipitation generated in the 12 months of 2021 in a total of 12,324 minutes of rain, resulting in the acid water flow of 1,238,562 m³ generated in the Quiulacocha tailings dam as a result of rain and runoff outside. For our research, the HIDROSTA software was used where the volume of acidic waters was calculated. For this, the information of intensity calculation (I), calculation of the runoff coefficient (C) and area of the Quiulacocha tailings dam was fed. On the other hand, the ArcGis program was also used to calculate the area where the latter includes, from the contour of the tailings to the contour of the crest ditches, this area under study is considered since precipitation falls in this area. and these waters are dragged, reaching the tailings dam, which also counts to calculate the volume of acid water generation by the Quiulacocha tailings dam, the area in the ArcGis program where there are 129.34 hectares.

Keywords: Acid waters, maximum flow, intensity calculation, calculation of the runoff coefficient and area of the Quiulacocha tailings dam and HIDROESTA software.

INTRODUCCIÓN

Para la generación de información se recurrió a la entidad del estado que es el SENAMHI y a otras entidades que manejen información meteorológica, asimismo se generara información de campo para el cálculo del volumen de agua acida. Es justificable la investigación ya que en la actualidad se desconoce el volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y asimismo se desconoce su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar. La información generada se sociabilizará en la población de Quiulacocha ya que en la actualidad se desconoce el volumen de aguas ácidas por parte de esta población y asimismo se desconoce su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar.

Para nuestra investigación, el enfoque utilizado es de tipo descriptivo. A través de la recopilación de información, se estableció el volumen de aguas ácidas producidas por la relavera Quiulacocha, perteneciente a activos mineros, y se evaluó su impacto en los factores ambientales del distrito de Simón Bolívar, en la provincia de Pasco.

La zona de estudio donde se realizo tiene una extensión de 110 hectáreas ello queda ubicado a 1 Km desde la ciudad de Cerro de Pasco entre la comunidad urbana de Champamarca y el centro poblado de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco.

El autor

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas Específicos:	3
1.4. Formulación de objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	4
1.5.1. Justificación metodológica.....	4
1.5.2. Justificación ambiental	4
1.5.3. Justificación social.....	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	4

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	5
2.1.1. Antecedentes internacional	5
2.1.2. Antecedente a nivel nacional.....	7

2.1.3.	Antecedentes a nivel local	8
2.2.	Bases teóricas - científicas	9
2.2.1.	Relavera.....	9
2.2.2.	Relavera Quiulacocha	9
2.2.3.	El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI	9
2.2.4.	Drenaje ácido de mina.....	10
2.2.5.	Reacciones químicas y biológicas relacionadas con la generación ácida..	10
2.2.6.	Metodología para predecir la generación ácida.	12
2.2.7.	Método Racional	14
2.3.	Definición de los términos básicos	19
2.3.1.	Agua.....	19
2.3.2.	Ambiente	19
2.3.3.	Caudal Ecológico:	19
2.3.4.	Información Ambiental.....	19
2.3.5.	Lixiviado	19
2.3.6.	Pasivo Ambiental.....	20
2.4.	Formulación de hipótesis	20
2.4.1.	Hipótesis general.....	20
2.4.2.	Hipótesis Específicos	20
2.5.	Identificación de las variables	20
2.5.1	Variable independiente.....	20
2.5.2	Variable dependiente.....	21
2.5.3	Variable interviniente.....	21
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	21

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	23
3.2. Nivel de la investigación	23
3.3. Métodos de investigación	23
3.3.1. Medición de áreas	23
3.3.2. Cálculos Matemáticos	24
3.4. Diseño de la investigación	24
3.5. Población y muestra	24
3.5.1 Población	24
3.5.2 Muestra	24
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.6.1 Técnicas	24
3.6.2 Instrumentos	24
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	25
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos	25
3.9. Tratamiento estadístico	25
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	25

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo	26
4.1.1. Ubicación de la zona de investigación	26
4.1.2. Accesibilidad a la zona de investigación	26
4.1.3. Características de la relavera Quiulacochoa	28
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados	29
4.2.1. Determinación del área de relavera Quiulacochoa	29

4.2.2. Determinación de volumen de agua acida en base a precipitación y escorrentía.....	33
4.2.3. Información de tratamiento de aguas ácidas por Activos Mineros SAC .	38
4.3 Prueba de hipótesis	39
4.4 Discusión de resultados.....	39
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE MAPAS

<i>MAPA 1 UBICACIÓN DE LA RELAVERA DE QUIULACOCHA-SIMÓN BOLÍVAR-PASCO.....</i>	<i>27</i>
<i>MAPA 2 VISTA DEL ÁREA DE LA RELAVERA DE QUIULACOCHA.....</i>	<i>31</i>
<i>MAPA 3 VISTA EXTERNA DE LA RELAVERA QUIULACOCHA</i>	<i>32</i>
<i>MAPA 4 CALCULO DE LA DISTANCIA DEL PUNTO MAS ALEJADO Y EL DESNIVEL CON ARCGIS</i> <i>.....</i>	<i>33</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1 OPERACIONABILIDAD DE VARIABLES E INDICADORES</i>	<i>22</i>
<i>TABLA 2 RESULTADO DE ÁREA EN LA ZONA DE QUIULACOCHA</i>	<i>30</i>
<i>TABLA 3 RESUMEN DE PRECIPITACIÓN AÑO 2021-ESTACION CERRO DE PASCO- YANAHUANCA.....</i>	<i>34</i>

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>ILUSTRACIÓN 1: CÁLCULO DE INTENSIDAD.....</i>	<i>35</i>
<i>ILUSTRACIÓN 2: CÁLCULO DE INTENSIDAD.....</i>	<i>35</i>
<i>ILUSTRACIÓN 3: CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA</i>	<i>36</i>
<i>ILUSTRACIÓN 4: CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA</i>	<i>36</i>
<i>ILUSTRACIÓN 5: CÁLCULO DE CAUDAL.....</i>	<i>37</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: ESQUEMA DE LA CUENCA.....</i>	<i>16</i>
<i>FIGURA 2: VISTA DEL SOFTWARE HIDROESTA</i>	<i>18</i>

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La generación de aguas ácidas por la actividad minera se forma a través de la oxidación química y biológica de la pirita. Este proceso ocurre cuando las rocas que contienen sulfuros llegan a contactarse con oxígeno o agua. Además, estas aguas ácidas contienen diversos metales disueltos que contribuyen significativamente al impacto en la calidad del agua del efluente, se conoce que los drenajes ácidos de las minas, tanto subterráneas como a cielo abierto, representan una de las primordiales fuentes de contaminación en las aguas superficiales y subterráneas en sus alrededores. Para mitigar este impacto ambiental, es necesario implementar medidas tanto preventivas (pasivas) como activas, a través de la aplicación de métodos de tratamiento para los efluentes ácidos, las tecnologías de tratamiento, es importante señalar que frecuentemente no basta con un solo método; se requiere la combinación de varios procedimientos (Envitech, 2020).

Estos drenajes son tóxicos a niveles variados para el ser humano, la fauna y la flora, ya que contienen metales disueltos y componentes orgánicos solubles e insolubles, usualmente originados de actividades mineras, procesos de concentración de minerales, presas de desechos y vertederos de la mina,

se han recibido informes sobre la muerte de miles de peces y crustáceos en los ríos, daños al ganado y destrucción de cultivos y márgenes, además de la aparición de una coloración y turbidez en las aguas de ríos y lagos, los drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro. Estos componentes con altas concentraciones de elementos químicos, son perjudiciales para la actividad biológica, contaminan los cuerpos de agua y pueden ocasionar daños en las estructuras creadas por el ser humano, debido al alto precio que implica el tratamiento en depuradoras tradicionales, se hace imprescindible encontrar una solución a este problema (Aduvire, 2006).

En base a lo mencionado, la relavera Quiulacocha abarca 110 hectáreas y alberga alrededor de 70 millones de toneladas de relave que resultaron de las actividades de Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. durante el periodo de 1943 a 1992 (INDECI, 2019).

La relavera en la actualidad genera drenaje ácido ya que esta se encuentra descubierto no teniendo ningún tratamiento y menos un plan de acción de cierre, en época de invierno se genera mayor volumen de drenaje ácido.

Asimismo, en la actualidad se desconoce el volumen de drenaje de ácido generado y estas aguas ácidas se desconoce su disposición y por otro lado también se desconoce su afectación a los factores ambientales.

1.2. Delimitación de la investigación

El desarrollo de la investigación se cumplió en el área del Centro Poblado de Quiulacocha está situado dentro del distrito de Simón Bolívar; provincia de Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco 2021?

1.3.2. Problemas Específicos:

- a. ¿Cuáles son las fuentes de aporte de agua para la generación aguas ácidas en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros?
- b. ¿Cuál es el volumen de relave presente en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros?
- c. ¿Qué tipo de factores ambientales están siendo afectando por las aguas acidas producidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar el volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco 2021

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las fuentes de aporte de agua para la generación aguas ácidas en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros.
- b. Determinar el volumen de relave presente en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros.
- c. Evaluar los tipos de factores ambientales están siendo afectando por las aguas acidas producidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación metodológica

Para la generación de información se recurrirá a la entidad del estado que es el SENAMHI y a otras entidades que manejen información meteorológica, asimismo se generara información de campo para el cálculo del volumen de agua acida.

1.5.2. Justificación ambiental

Es justificable la investigación ya que no se cuenta información del volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y asimismo se desconoce su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar.

1.5.3. Justificación social

La información generada se sociabilizará en la población de Quiulacocha ya que en la actualidad se desconoce el volumen de aguas ácidas por parte de esta población y asimismo se desconoce su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar.

1.6. Limitaciones de la investigación

Se identifico las limitaciones:

- ✓ La accesibilidad restringida al depósito de la relavera Quiulacocha y zonas aledañas.
- ✓ La peligrosidad de ingreso en épocas de invierno a la relavera Quiulacocha.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacional

Vidales (2020), En su investigación denominada “*Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la explotación de yacimientos mineros en Colombia*”, se señala que el drenaje ácido de mina constituye un problema ambiental de gran preocupación debido a los efectos negativos que los contaminantes asociados a este fenómeno tienen sobre la vida acuática en el medio receptor, así como en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, afectando a las comunidades que están expuestas a dicha contaminación, el drenaje ácido de mina (DAM) se origina por la oxidación de sulfuros metálicos, principalmente la pirita, en presencia de oxígeno, agua y actividad bacteriana, para este estudio se centra en evaluar los impactos ambientales causados por la generación de DAM en diversas modalidades de explotación minera y en identificar los procesos y fuentes que contribuyen a su formación, al finalizar los resultados obtenidos de la revisión de documentos destacan que las variables más significativas para caracterizar las aguas de mina son el pH, los sulfatos y los metales disueltos o totales.

Zevallos (2016) En su trabajo titulado “Análisis del modelo del balance de aguas del tranque de relaves Laguna Seca y su impacto económico en los procesos de Minera Escondida Limitada” (Título de Ingeniero Civil Químico), se señala que el agua es un recurso crucial en las labores mineras, especialmente en regiones áridas como el norte de Chile, situada en el desierto de Atacama, a 170 km al sureste de Antofagasta, reconoce la relevancia de este recurso y se esfuerza por garantizar su uso eficiente y adecuado, en sus operaciones de las dos plantas concentradoras de la empresa, se procesan diariamente 240,000 toneladas de mineral, utilizando 1 m³ de agua por cada tonelada procesada, lo que se traduce en un gasto diario de 192,000 USD por consumo de agua, el mayor porcentaje de agua proviene del suministro de agua fresca, que representa el 63% del total utilizado, mientras que el agua recuperada constituye un 30% y el agua desalinizada un 7%, la recuperación de agua es la opción más económica, con un costo de 0.44 USD/ton, frente a los 0.61 USD/ton de agua fresca y los 4.1 USD/ton de agua desalinizada, también se observa que al incrementar el uso de agua recuperada al 40%, los costos totales de consumo de agua disminuirían aproximadamente un 8%, lo que resalta la importancia de explorar maneras de aumentar esta disponibilidad, de lo mencionado en vista del elevado costo del agua desalinizada, las restricciones ambientales sobre la extracción de agua fresca, y el beneficio económico de incrementar la recuperación de agua, esta última fuente se vuelve fundamental. El Tranque de Relaves Laguna Seca es la principal fuente de extracción, y en colaboración con la empresa asesora Arcadis, la Superintendencia de Aguas y Tranque ha desarrollado un conjunto de ecuaciones para modelar el comportamiento hídrico del tranque. Este modelo, denominado “Modelo del balance de aguas del tranque de relaves Laguna Seca”, genera proyecciones mensuales y anuales de agua recuperada. Sin embargo, carece de validación histórica que permita

comprender su precisión en relación con la realidad. Un análisis estadístico del comportamiento del modelo en comparación con datos reales reveló diferencias significativas, lo que llevó a investigar posibles mejoras. Las propuestas incluyen optimizar la operación del tranque, determinar el volumen mínimo de la laguna para gestionar el stock de agua recuperable, considerar la variación del volumen a lo largo del tiempo y mejorar la medición de la tasa de evaporación en las áreas activas y en la laguna mediante tecnología satelital. Una mejora en la precisión del modelo no solo facilitaría un mejor manejo del agua recuperada, sino que también evitaría costos adicionales que podrían aumentar el gasto en agua de un 3.10% a un 20.85%, lo que en el escenario más desfavorable puede significar un incremento de hasta 14,000,000 USD anuales.

2.1.2. Antecedente a nivel nacional

Delgado (2013) El estudio titulado "Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización" se centra en la evaluación del potencial de generación de ácido de un relave minero en la región central del Perú. A través de la recolección y análisis de muestras en laboratorio, el objetivo es establecer una metodología más confiable para medir este potencial en comparación con métodos existentes. Se identifican cuatro muestras representativas, de las cuales M3 y M7 presentaron un alto potencial de generación de ácido debido a la presencia de especies sulfuradas, mientras que M4 y M5, aunque generadoras de ácido, contaban con minerales que permitían neutralizar su acidez, la muestra M1, aunque no fue seleccionada para el análisis, mostró un valor de PNN que la sitúa en un rango de incertidumbre en la generación de drenaje ácido. Se encontraron diversos silicatos y cuarzo en todas las muestras, destacando su inercia frente a la formación de ácido. La muestra M3' se identificó como la más efectiva para la

neutralización, requería entre 0.10 y 0.89 toneladas de CaCO_3 por tonelada de relave. En cambio, la muestra M7' necesitaba entre 1.75 y 16.24 toneladas de CaCO_3 para neutralizar el mismo potencial, en términos de costos, la neutralización con la muestra M3' resultó ser más económica, oscilando entre 3.30 y 293.32 \$ por tonelada, mientras que M7' implicaba costos significativamente mayores, de 60.36 a 5,365.14 \$ por tonelada. Los resultados subrayan la relación proporcional entre el potencial neutralizador de las muestras y sus costos de neutralización, evidenciando que un menor valor de NNP en muestras alcalinas conlleva mayores costos de neutralización.

Zevallos J. (2016) La investigación titulada "Estabilización del drenaje ácido de mina (DAM) de la empresa Paraíso Perdido Apata" se llevó a cabo en el distrito de Apata, provincia de Jauja, en el proyecto minero Paraíso Perdido. El objetivo del estudio fue estabilizar el drenaje ácido de la mina, que presenta un pH entre 4 y 6.5, con el fin de mitigar el impacto negativo de las aguas ácidas en el río Esperanza, ubicado río abajo de la mina. A través de diversas técnicas e instrumentos, se determinó que los minerales del proyecto generarán efluentes ácidos que amenazan la estabilidad del río. Como resultado, se propuso un tratamiento para reducir la acidez, lo que representa una alternativa efectiva para disminuir la contaminación de estas aguas residuales al aumentar el pH y reducir la concentración de sulfatos y iones metálicos, como cobre y hierro.

2.1.3. Antecedentes a nivel local

Velita (2018) En su tesis de maestría titulada "Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras", el autor investigó en qué medida favorece la propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras. La propuesta de tratamiento del depósito de

relaves tiene dos partes: La etapa primera, con relaves secos de 79.38 Ha es remediado con encapsulamiento de geomembranas y cobertura de tierra orgánica para revegetar con plantas nativas. Para esto se procederá a realizar la cobertura y revegetación. La otra etapa será echa una vez que el estanque de aguas ácidas se haya secado. Esto será posterior al cierre definitivo del depósito de desmontes y luego del encapsulamiento del depósito de relaves de Quiulacocha (primera etapa). Esta propuesta tendrá efectos positivos en la población y en la recuperación de los recursos naturales como es el suelo y agua.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Relavera

Los relaves son el desecho final del proceso minero, la roca sin valor comercial, a la que se le ha extraído las singulares cantidades de cobre y oro. En una operación actual, los relaves equivalen a más del 90% de los desechos, sin tener en cuenta los desmontes (Energeminas, 2017).

2.2.2. Relavera Quiulacocha

La relavera Quiulacocha abarca una extensión de 110 hectáreas y alberga alrededor de 70 millones de toneladas de relave que resultaron de las actividades de ex empresas Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. durante el periodo de 1943 a 1992 (INDECI, 2019).

2.2.3. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Es una entidad pública especializada que se estableció en 1969 que se adhirió como parte del Ministerio del Ambiente en mayo de 2008, en un organismo asociado a este sector. La actividad que desarrolla es de servicios públicos, asesoramiento, así como investigaciones e estudios científicas en los campos de meteorología, hidrología, agrometeorología y cuestiones ambientales en pro del país. Por otro lado, participa en la vigilancia

atmosférica del país y presta servicios especializados para contribuir al desarrollo sostenible, la seguridad y el bienestar nacional (SENAMHI, 2020).

2.2.4. Drenaje ácido de mina

El drenaje ácido de mina (DAM) se refiere al agua contaminada que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y la lixiviación de metales cuando estas rocas se exponen al aire y al agua. Este proceso implica oxidación química y biológica, además de fenómenos físico-químicos como la precipitación y el encapsulamiento. La generación del DAM se caracteriza por su bajo pH y alto contenido de metales, y evoluciona con el tiempo, volviéndose más ácido y con mayores concentraciones de metales. Es importante destacar que el DAM abarca cualquier tipo de drenaje contaminado relacionado con la oxidación y lixiviación de minerales sulfurosos (Peters, 2008).

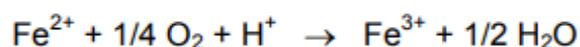
2.2.5. Reacciones químicas y biológicas relacionadas con la generación ácida

La producción de ácido y su consumo mediante neutralización son el resultado de reacciones químicas conectadas que requieren minerales sulfurosos, bacterias, agua o humedad ambiental, y un agente oxidante como el oxígeno; la ausencia de humedad o oxidante detiene la generación ácida, la actividad bacteriana es fundamental para acelerar la producción de ácido, y su inhibición reduce la formación de efluentes ácidos, estas reacciones se explican a través de la oxidación de la pirita (FeS_2), un sulfuro mineral común en menas de interés económico. (Aduvire O. , 2006)

Estas reacciones son:



En esta etapa inicial, como resultado de la oxidación del sulfuro mineral, se genera hierro (en forma de ion ferroso), sulfato e hidrógeno, los compuestos en disolución, como Fe²⁺, SO₄²⁻ y H⁺, provocan un aumento en la cantidad total de sólidos disueltos y en la acidez del agua; a menos que se neutralice este aumento, la acidez estará vinculada a una reducción del pH. Si el entorno presenta condiciones suficientemente oxidantes, una gran parte de los iones ferrosos se transformará en iones férricos (Aduvire O. , 2006).



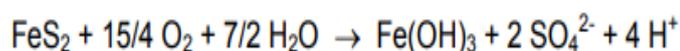
A valores de pH que oscilan entre 3,5 y 4,5, la bacteria Metallogenium actúa como catalizador del ion férrico, mientras que si el pH desciende por debajo de 3,5, la bacteria Thiobacillus ferrooxidans cataliza la reacción, por lo general, a pH entre 2,3 a 3,5 el ion férrico por hidrólisis precipita como hidróxido Fe(OH)₃ (sólidos de color amarillo, naranja o rojo), lo que provoca un descenso del pH (Aduvire O. , 2006).



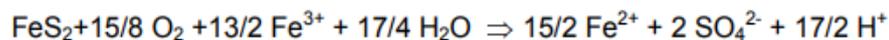
Algunos cationes férricos (Fe³⁺) que no precipitan en la solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita (catálisis) y formar nuevamente iones ferrosos, sulfato e hidrógeno (Aduvire O. , 2006).



Basados en estas reacciones básicas simplificadas, la generación ácida que produce el hierro de la pirita el cual eventualmente precipita como Fe(OH)₃ puede ser representada por la siguiente reacción (Aduvire O. , 2006):



Por lo tanto, la reacción final para estabilizar el ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita, sería:



Otros minerales sulfurosos, como la calcosina (Cu₂S), que posee una relación de oxidación distinta, reacciona de manera distinta a la pirita, marcasita y pirrotina (sulfuros de cristalización framboidal) que poseen una fácil oxidación. Por ende, poseen distintas rutas de reacción estequiometría y velocidades de reacción (Aduvire O. , 2006).

2.2.6. Metodología para predecir la generación ácida.

El potencial de generación de acidez de los residuos mineros depende del tipo de material movilizado durante las actividades extractivas, incluyendo mineral agotado de las pilas de lixiviación, residuos y rechazos de la planta de procesamiento, estériles de escombreras y trabajos de desarrollo, también es importante considerar la acidez producida por las superficies expuestas tanto en minería a cielo abierto (como taludes y bancos) como en minería subterránea (como galerías, chimeneas y pozos), de igual forma los factores como el tamaño de las partículas, la diversidad mineralógica, la calidad del agua de drenaje, ciertas características físico-químicas del entorno y las condiciones climáticas del área también juegan un papel en la formación de aguas ácidas, el objetivo de la predicción de acidez es determinar si el volumen de residuos mineros puede generar acidez, mediante una serie de pruebas analíticas, y estimar la calidad de los drenajes según la cinética de formación ácida usando el modelo más adecuado, para ambos aspectos están muy condicionados por la rigurosidad de las pruebas analíticas y, por lo tanto, una vez que se realice el muestreo, la principal estrategia será elegir el método de análisis más adecuado, considerando factores que afectan tanto al muestreo como al análisis, como el conocimiento geológico, los costos y el tiempo requerido para realizar la prueba, los métodos de predicción de generación ácida se fundamentan principalmente en ensayos analíticos

estáticos y cinéticos, y en ocasiones se utiliza software para estimar el potencial generador de aguas ácidas, para evaluar este potencial, es necesario conocer al menos lo siguiente (Aduvire O. , 2006).

A. Para estimar el máximo volumen total de aguas ácidas que se pueden generar

- Cantidad de materiales ácidos generadores (sulfuros).
- Cantidad de materiales ácidos neutralizantes (carbonatos y otros).
- Composición del material potencialmente generador de aguas ácidas.
- Aporte de agua al sistema.

B. Para estimar el rendimiento de la producción de aguas ácidas (cinética)

- Medidas insitu sobre la generación actual de aguas ácidas

C. Para estimar los posibles cambios en la cinética de producción aguas ácidas

- Para cambios puntuales, en cortos períodos de tiempo:
 - ✓ Régimen de lluvias
 - ✓ Variación de temperaturas
- Para cambios bruscos de largo alcance:
 - ✓ Capacidad amortiguadora del medio y su evolución

Además de determinados componentes que afectan al grado o la relación de generación ácida y que están caracterizados por:

- Tipo de sulfuro mineral
- Tipo de mineral carbonatado
- Área superficial del mineral disponible para la reacción:
 - ✓ Ocurrencia de los granos del mineral en el residuo
- Tamaño de partículas en el residuo
 - ✓ Disponibilidad de agua y oxígeno
 - ✓ Presencia de bacterias

2.2.7. Método Racional

El Método Racional es uno de los más empleados para calcular el flujo máximo vinculado a una lluvia de diseño específica. Normalmente se emplea en el diseño de proyectos de drenaje urbano y rural. Y tiene el beneficio de no necesitar información hidrométrica para determinar los Caudales Máximos (Tutorial del DIA, 2020).

La expresión utilizada por el Método Racional es:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde:

Q:	Caudal máximo [m ³ /s]
C:	Coeficiente de escorrentía, en este Tutorial encontrarás algunos valores para cuencas Rurales y Urbanas.
I:	Intensidad de la lluvia de diseño, cuya duración corresponde al tiempo de concentración de la cuenca y cuya frecuencia está determinada por el período de retorno elegido para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h].
A:	Área de la cuenca. [Ha]

Algunos de los obstáculos resaltados por algunos autores respecto al Método Racional incluyen:

- Solo proporciona un flujo máximo, no el hidrograma ascendente para el diseño.
- Suponga que la precipitación es homogénea a lo largo del tiempo (intensidad invariable), lo que solo es verdad cuando la duración de la lluvia es muy breve.

- El Método Racional también asume que la precipitación es homogénea en toda la zona de la cuenca en análisis, lo que es parcialmente cierto si su amplitud es muy reducida.
- Considera que la escorrentía tiene una proporción directa con la precipitación (si la precipitación se duplica, la escorrentía también se duplica). En realidad, esto no es verdad, ya que la escorrentía también está influenciada por diversos factores, como las precipitaciones previas, las condiciones de humedad del suelo, entre otros.
- Pasa por alto los efectos de almacenaje o conservación temporal del contenido.
- Asume el intervalo de repetición de la lluvia y el de la escorrentía son equivalentes, lo cual se aplicaría en zonas impermeables, donde las condiciones de humedad previa del suelo no tienen un efecto considerable en la escorrentía superficial.

A pesar de estas restricciones, el Método Racional se aplica casi en todos los proyectos de drenaje, ya sean viales, urbanos o agrícolas. Sin embargo, es importante considerar que ofrece resultados satisfactorios en áreas pequeñas y con un elevado porcentaje de impermeabilidad. Por esa razón, se sugiere que su uso se restrinja a cuencas que no superen las 200 hectáreas.

Desglosando la formula se tiene:

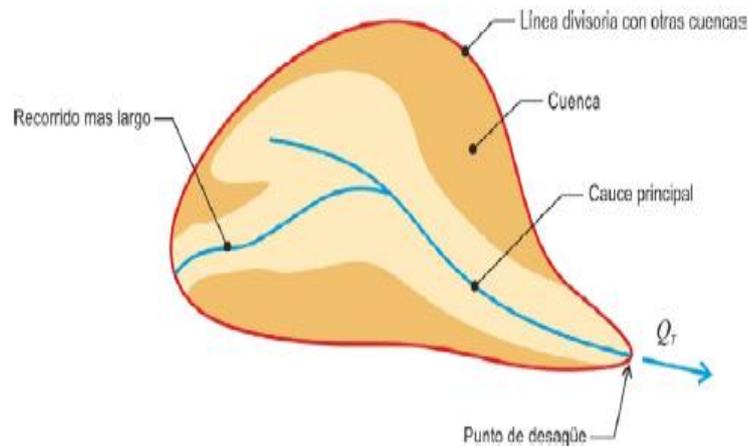
Siguiendo el método racional, el caudal máximo anual Q_T , correspondiente a un período de retorno T , se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Donde:

- Q_T (m^3/s) Caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T , en el punto de desagüe de la cuenca (figura 1).
- $I(T, t_c)$ (mm/h) Intensidad de precipitación (epígrafe 2.2.7.1) correspondiente al período de retorno considerado T , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración t_c , de la cuenca.
- C (adimensional) Coeficiente medio de escorrentía (epígrafe 2.2.7.1) de la cuenca o superficie considerada.
- A (km^2) Área de la cuenca o superficie considerada.
- K_t (adimensional) Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

Figura 1: Esquema de la cuenca



Intensidad media diaria de precipitación corregida

La intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T , se obtiene mediante la fórmula (Normas S, 2020)

$$I_d = \frac{P_d \cdot K_A}{24}$$

Donde:

- I_d (mm/h) Intensidad media diaria de precipitación corregida correspondiente al período de retorno T
- P_d (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T
- K_A (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca

Para la determinación de la precipitación diaria correspondiente al período de retorno T , P_d , se debe adoptar el mayor valor de los obtenidos a partir de:

- Datos publicados por SENAMHI
- Análisis estadístico de las series anuales de las precipitaciones diarias máximas, obtenidas de los pluviómetros ubicados en la cuenca o en sus cercanías. Es necesario adaptar a las series de precipitaciones máximas registradas en cada pluviómetro la función de distribución extremal que mejor se ajuste a los datos de la región (Normas S, 2020).

Para la implementación del método racional, se considera como precipitación diaria P_d , la que se relaciona con el valor medio en la superficie de la cuenca (media areal), lo cual se logra a través de la interpolación espacial de los datos obtenidos en cada uno de los pluviómetros evaluados (Normas S, 2020).

Coefficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía C determina la proporción de la precipitación de intensidad I (T , t_c) que produce el caudal de la crecida en el punto de salida de la cuenca.

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$

$$C = 0$$

Donde:

- C (adimensional) Coeficiente de escorrentía
- Pd (mm) Precipitación diaria correspondiente al período de retorno T considerado
- KA (adimensional) Factor reductor de la precipitación por área de la cuenca
- P0 (mm) Umbral de escorrentía

Hidroesta 2

HidroEsta, es un instrumento que simplifica y agiliza los cálculos complicados y el proceso de evaluación de la gran cantidad de información necesaria en las investigaciones hidrológicas (Geocontacto, 2022).

Figura 2: Vista del software Hidroesta



2.3. Definición de los términos básicos

2.3.1. Agua

El agua es un recurso natural que se renueva, esencial para la vida y susceptible, además de ser clave para el desarrollo sostenible, el equilibrio de los sistemas y ciclos naturales que la sostienen, así como para la seguridad del país (MINAM, 2012).

2.3.2. Ambiente

Se define como el conjunto de componentes físicos, químicos y biológicos, ya sean de origen natural o causados por la actividad humana, que rodean a los organismos y que influyen en sus condiciones de vida (MINAM, 2012).

2.3.3. Caudal Ecológico:

Cantidad de agua que es necesario preservar en las fuentes naturales para salvaguardar o conservar los ecosistemas afectados, la belleza del entorno o diversos elementos de relevancia científica o cultural (MINAM, 2012).

2.3.4. Información Ambiental

Cantidad de agua que es necesario preservar en las fuentes naturales para proteger o conservar los ecosistemas presentes, así como para mantener la belleza del paisaje u otros elementos de interés científico o cultural (MINAM, 2012).

2.3.5. Lixiviado

Líquido derivado de los desechos, que se genera a través de reacciones, arrastre o percolación, y que incluye, ya sea disueltos o en suspensión, componentes o sustancias presentes en esos mismos desechos (MINAM, 2012).

2.3.6. Pasivo Ambiental

Efectos adversos ocasionados por actividades productivas o de servicios que han sido descontinuadas, ya sea con un responsable identificable o sin él, y en las que no se ha llevado a cabo un cierre de operaciones que esté regulado y avalado por la entidad competente (MINAM, 2012).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco se genera más de 100 m³/mes.

2.4.2. Hipótesis Específicos

- a. Las fuentes de aporte de agua para la generación aguas ácidas en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros son de las precipitaciones y de escorrentía.
- b. El volumen de relave presente en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros supera los 70 millones de toneladas de relave.
- c. Los factores ambientales que están siendo afectando por las aguas ácidas producidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros son al río San Juan.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1 Variable independiente

- Volumen de aguas ácidas generado

2.5.2 Variable dependiente

- Relavera Quiulacocha

2.5.3 Variable interviniente

- Altitud Clima y meteorología

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Las variables y los indicadores se definen de la siguiente manera:

Tabla 1 Operacionabilidad de variables e indicadores

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>Variable Independiente</p> <p>Volumen de aguas ácidas generado</p>	<p>(Pérez Peters, 2008) "El término "drenaje ácido de mina" o DAM se refiere al agua de drenaje contaminada que se origina por la oxidación de minerales sulfurados y la lixiviación de metales asociados cuando las rocas sulfuradas son expuestas al aire y al agua. El proceso de formación del DAM es gradual y está influenciado tanto por reacciones químicas como biológicas, así como por fenómenos físico-químicos, que incluyen la precipitación y el encapsulamiento. Es fundamental entender que esta definición se relaciona con el drenaje que contiene contaminantes. La aparición del típico DAM, caracterizado por un pH bajo y altos niveles de metales, es un proceso temporal, como se abordará más adelante. Con el tiempo, la química del agua de drenaje cambiará, volviéndose cada vez más ácida y aumentando las concentraciones de metales. Sin embargo, como se menciona en la definición, el DAM abarca cualquier drenaje contaminado resultante de los procesos de oxidación y lixiviación de minerales sulfurados" (Pérez Peters, 2008)".</p>	<p>Dimensiones Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación el volumen de agua con información de SENAMHI 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Volumen de Agua ✓ Precipitaciones
<p>Variable Dependiente</p> <p>Relavera Quiulacocha</p>	<p>(INDECI, 2019). " La relavera Quiulacocha también es un problema ambiental en la actualidad, la relavera Quiulacocha abarca 110 hectáreas y alberga alrededor de 70 millones de toneladas de relave que resultaron de las actividades de Cerro de Pasco Cooper Corporation y Centromín Perú S.A. durante el periodo de 1943 a 1992"</p>	<p>Dimensiones Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluación de la relavera Quiulacocha la cantidad de aguas acidas generadas 	

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es considerada carácter descriptivo con la recolección de información se determinó el volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco.

3.2. Nivel de la investigación

La investigación es considerada del nivel de investigación descriptivo analítico, ya que se determinó el volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha mediante cálculos matemáticos.

3.3. Métodos de investigación

Se ejecutará mediante el siguiente medio:

3.3.1. Medición de áreas

- Medición de área de la relavera de Quiulacocha
- Identificación de fuentes de agua

3.3.2. Cálculos Matemáticos

- Cálculos matemáticos para la evaluación de agua acidas producidos.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la presente es diagnóstico ya que con este diseño no inclinaremos hacia la evaluación de la causa raíz de la generación de aguas acidas.

3.5. Población y muestra

3.5.1 Población

Para la investigación la población está representado por los componentes de pasivos ambientales ubicados en la provincia de Pasco.

3.5.2 Muestra

La muestra está representada por la relavera Quiulacocha ubicado en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1 Técnicas

Cálculos matemáticos

Mediante visita de campo y toma de medidas se calculó el volumen de aguas acidas que se genera por la relavera Quiulacocha.

Calculo con el software Hidroesta

3.6.2 Instrumentos

- Formatos de recolección de información.
- GPS
- Wincha

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Procedimiento de Selección.- La selección de las áreas de estudios se debió a la accesibilidad a las remediación.

Procedimiento de validación.- El estudio debe ser validado por el asesoramiento y jurados de la tesis

Procedimiento de confiabilidad de los instrumentos de investigación.- Para el caso de la confiabilidad de la investigación será evaluado por el área de investigación de la facultad de Ingeniería de la UNDAC.

3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

- Recolección de información de campo y gabinete.
- Generación de tablas
- Evaluación y generación de información.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se usó el programa Excel.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El presente estudio se elaboró por mi persona cumpliendo lo reglamentado que da la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión a través de la Facultad de Ingeniería.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo

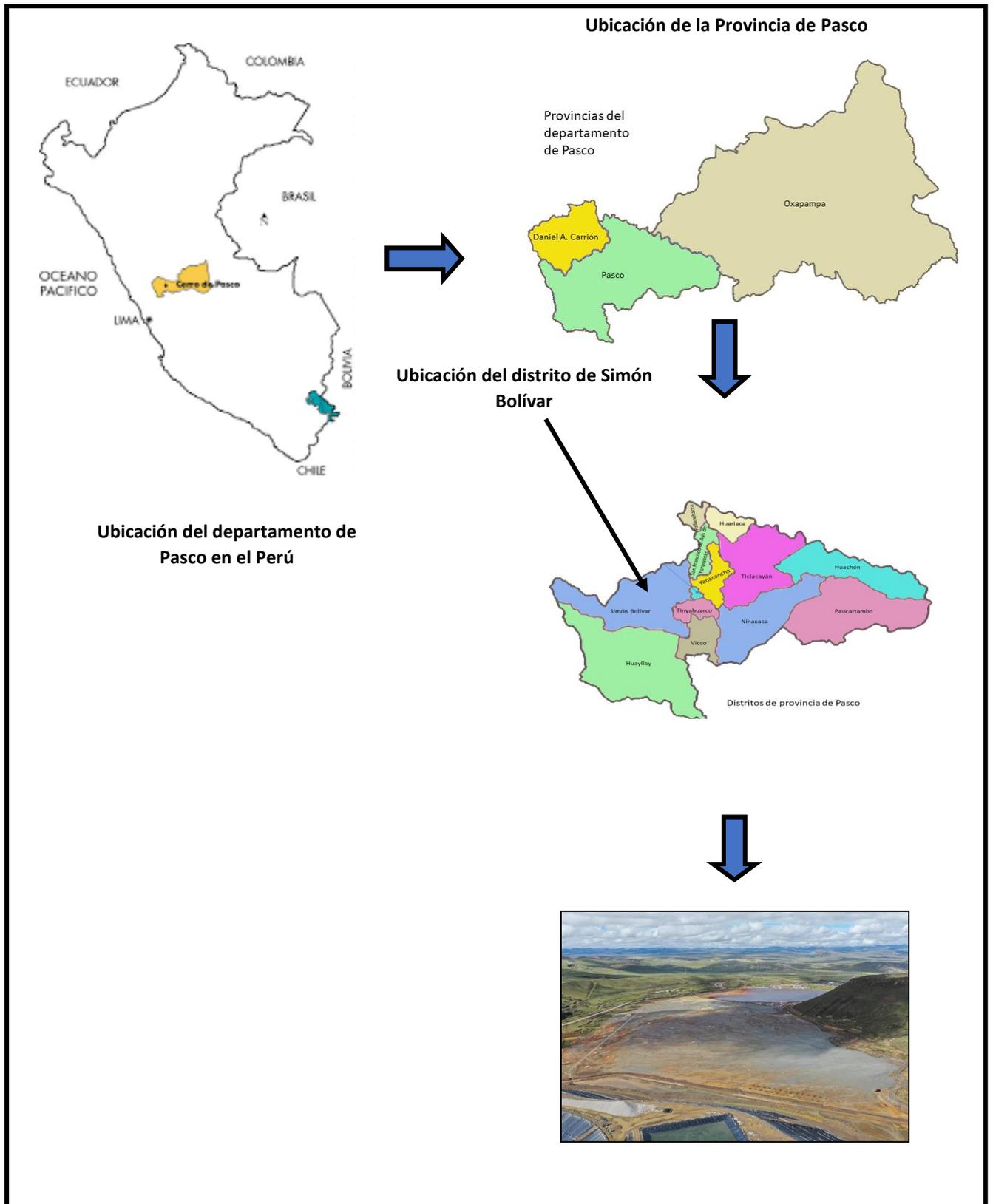
4.1.1. Ubicación de la zona de investigación

El área de estudio donde se realizó tiene una extensión de 110 hectáreas ello queda ubicado a 1 Km desde la ciudad de Cerro de Pasco entre la comunidad urbana de Champamarca y el centro poblado de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar; provincia de Pasco.

4.1.2. Accesibilidad a la zona de investigación

Para llegar a la zona de la investigación desde la capital de la región de Pasco me refiero a la ciudad de Cerro de Pasco específicamente del distrito de Chaupimarca se parte por la vía pavimentada hacia la esperanza, salud Pasco, comunidad urbana de Champamarca y relavera Quiulacocha, esta ubicación se detalla en el siguiente Mapa 1.

Mapa 1 Ubicación de la relavera de Quiulacochoa-Simón Bolívar-Pasco



Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Características de la relavera Quiulacocha

La relavera de Quiulacocha alberga cerca de 78,7 millones de toneladas de material. Este depósito cuenta con un dique flotante que lo divide en dos secciones, presentando una diferencia de altura de dos (2) metros; el nivel más bajo se encuentra en el suroeste, con una ligera pendiente de acumulación, mientras que el nivel superior está al noreste. Actualmente, el depósito de relaves de Quiulacocha es un pasivo del Estado peruano y está bajo la gestión de la empresa estatal Activos Mineros. Funcionó hasta 1993, y desde entonces, comenzó a operar el nuevo depósito de relaves de Ocroyoc (Cerro SAC, 2013).

En la siguiente imagen se puede observar las características antes mencionado.

Imagen 1: Vista de la relavera Quiulacocha, donde se observa la división en dos sectores



En un muestreo realizado por especialistas de EAS se tomó una muestra de agua de la laguna de decantación de la relavera Quiulacocha (Anexo 1), representando la temporada húmeda y seca teniendo los siguientes resultados (Cerro SAC, 2013).

Calidad del agua – Temporada de lluvias. El pH registrado mostró características ácidas, con un valor de 2,6 en la laguna. Se detectó una alta

conductividad eléctrica de 976 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando que las aguas pertenecen al grupo Fe-Mg-Zn-SO₄. La concentración total de iones principales fue de 1940 mg/L de hierro, 744 mg/L de magnesio y 545 mg/L de zinc, mientras que las concentraciones de nutrientes como fósforo y compuestos nitrogenados estaban por debajo de los límites de detección (Cerro SAC, 2013).

Además de las elevadas concentraciones de los iones predominantes como hierro, magnesio y zinc, se detectaron niveles superiores a 1 mg/L en los elementos aluminio, calcio, cobre, sodio y manganeso. Las concentraciones de estos elementos fueron las siguientes: 47,0 mg/L para aluminio, 262 mg/L para calcio, 19,3 mg/L para cobre, 10,4 mg/L para sodio y 491 mg/L para manganeso.

Se registraron niveles altos de los elementos arsénico (2,98 mg/L), cadmio (1,76 mg/L) y plomo (0,592 mg/L). Las concentraciones de cobre, hierro y zinc excedieron los límites establecidos por las normas para efluentes mineros tanto en Perú como en el Banco Mundial. En cambio, las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo solo superaron los límites de los estándares del Banco Mundial para efluentes mineros.

Calidad del Agua – Época seca. En la muestra recolectada por Volcan, se verificó en gran medida la calidad del agua registrada durante la temporada de lluvias. Además, se observó un efecto de concentración de elementos disueltos que triplica los niveles (Anexo 1) en comparación con la temporada húmeda, lo cual es más probable que se deba a la intensa evaporación y a la falta de dilución por precipitaciones en la época seca.

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados.

4.2.1. Determinación del área de relavera Quiulacocha

Para la determinación del área en campo se realizó la georreferenciación de coordenadas en campo, donde se tomó coordenadas N

y E en dos áreas como se detalla a continuación, asimismo estas coordenadas se detallan en el Anexo 2 de la presente investigación.

1. Área de la relavera Quiulacocha
2. Área externa de la relavera Quiulacocha

Área de la relavera Quiulacocha, esta área comprende al área donde se encuentra principalmente relaves.

Área externa de la relavera Quiulacocha, esta área comprende, desde el contorno de los relaves hasta el contorno de las cunetas de coronación, esta área en estudio se considera ya que en esta zona cae las precipitaciones y son arrastrados llegando estas aguas a la relavera, lo cual también cuenta para calcular el volumen de aguas acidas que se genera en la relavera Quiulacocha.

En base a ello se tiene lo más mapas de cálculo de área en el programa ArcGis donde se tiene los siguientes resultados.

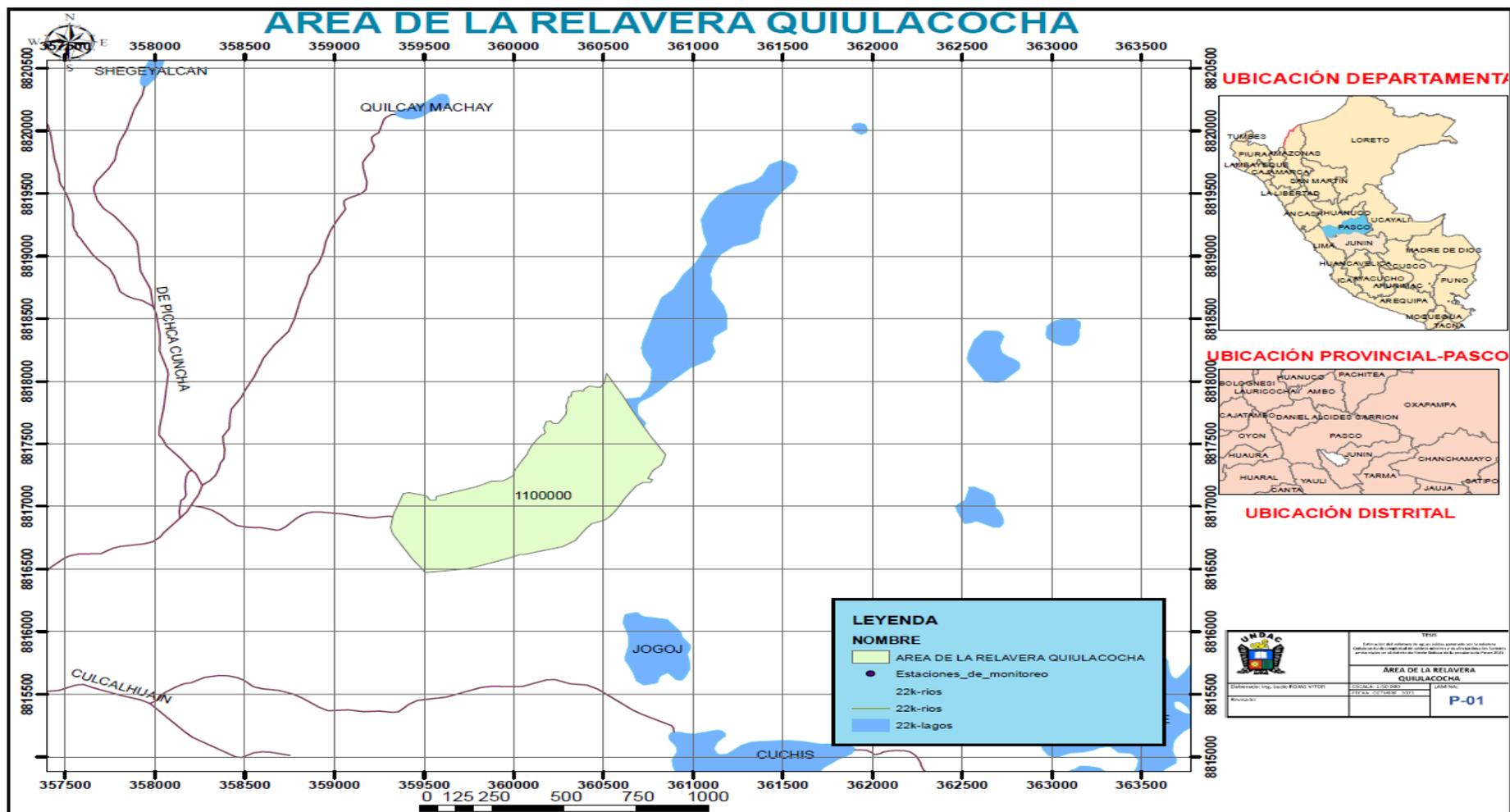
Tabla 2 Resultado de área en la zona de Quiulacocha

N°	Descripción	Área en m ²	Área en hectáreas
1.	Área de la relavera Quiulacocha	1100000	110.00
2.	Área externa de la relavera Quiulacocha	1293430.49	129.34

Fuente: Elaboración propia de la investigación

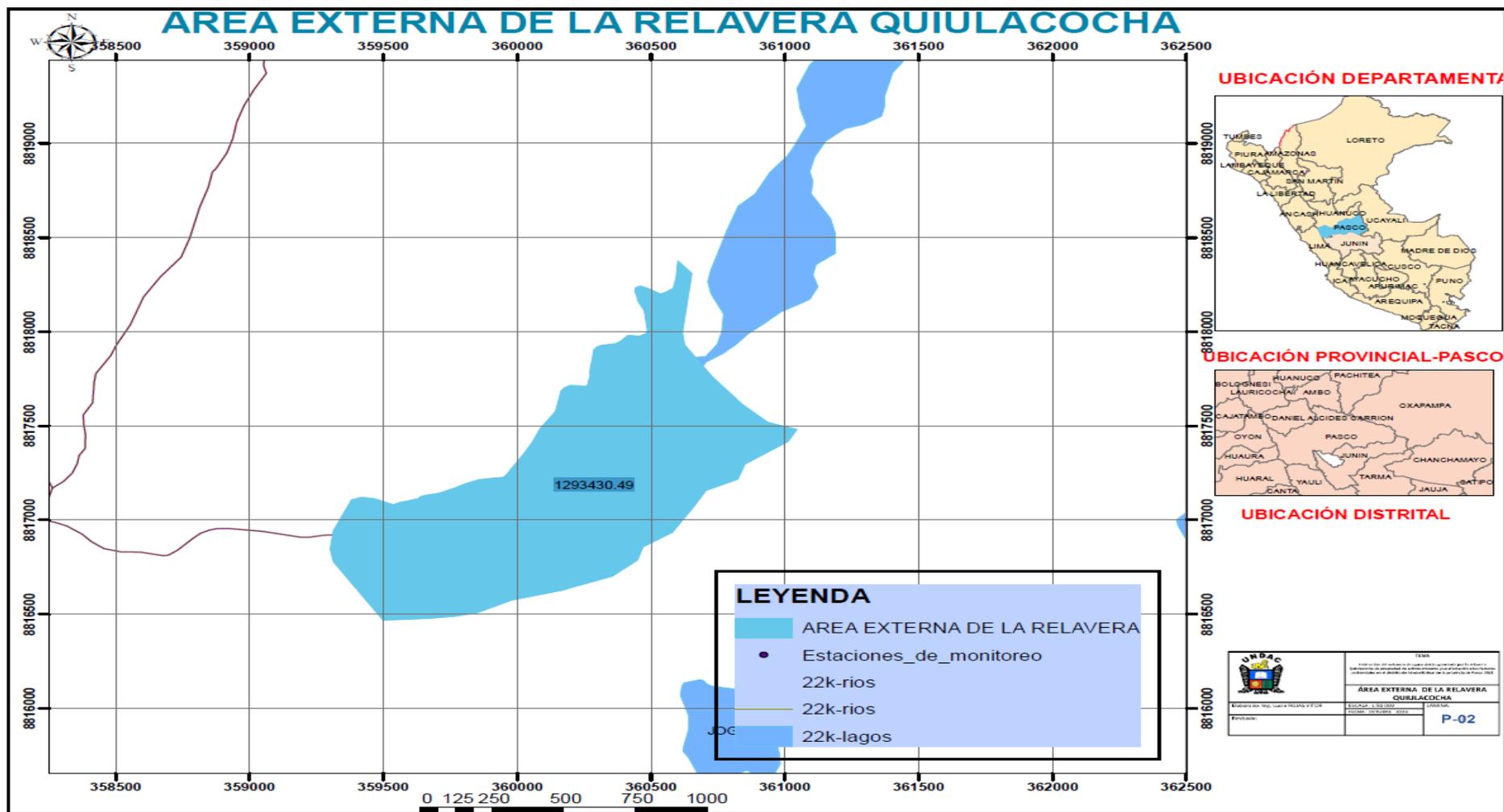
De los cálculos realizados se presenta a continuación los mapas del área de la relavera Quiulacocha y área externa de la relavera Quiulacocha.

Mapa 2 Vista del área de la relavera de Quiulacocha



Fuente: Elaboración propia de la investigación

Mapa 3 Vista externa de la relavera Quiulacocha



Fuente: Elaboración propia de la investigación

4.2.2. Determinación de volumen de agua acida en base a precipitación y escorrentía

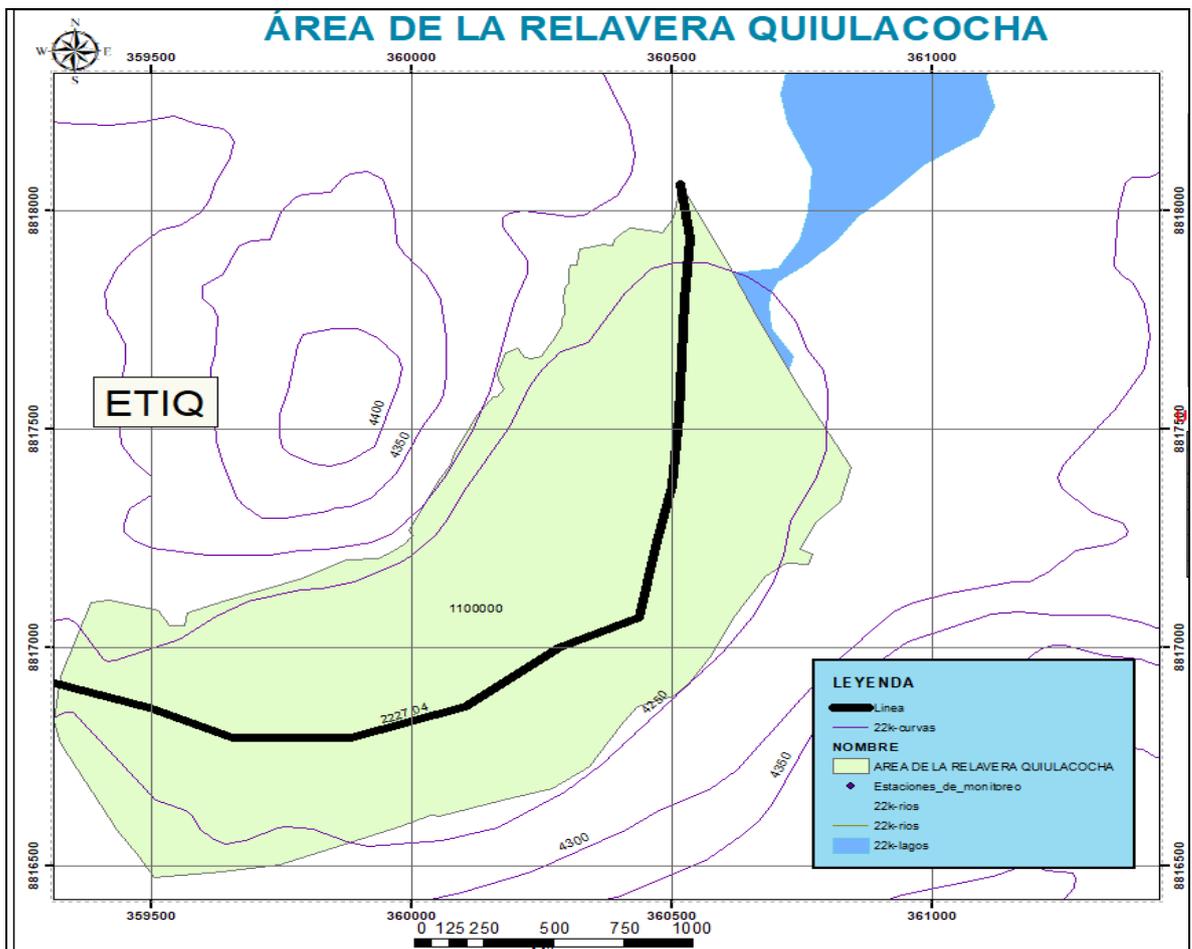
Para el cálculo del volumen de agua acida que se genera en la relavera Quiulacocha producto a la precipitación en el área y en la parte externa se calcula con el método racional tal como se detalla en el (epígrafe 2.2.7), para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

Para el cálculo de la Intensidad:

- Distancia de punto más alejado es 2227.04
- Desnivel es de 2 m.
- Periodo de retorno 2 años

La información mencionada se extrajo del modelamiento realizado en el software ArcGis tal como se detalla a continuación:

Mapa 4 *Calculo de la distancia del punto mas alejado y el desnivel con ArcGIS*



Asimismo, en el siguiente cuadro se tiene un resumen de la precipitación en el año 2021 extraído de la información de las estaciones meteorológicas de Cerro de Pasco y Yanahuanca, tal como se detalla a continuación.

Tabla 3 Resumen de precipitación año 2021-Estacion Cerro de Pasco-Yanhuanca

AÑO 2021	Periodo de retorno	Duración (min)	Intensidad (mm/hr)
ENERO	2	1260	154.5
FEBRERO	2	1300	161.2
MARZO	2	1350	152.87
ABRIL	2	800	95.45
MAYO	2	258	16.1
JUNIO	2	1116	35.7
JULIO	2	90	3.2
AGOSTO	2	222	7.8
SETIEMBRE	2	312	34.6
OCTUBRE	2	1176	81.6
NOVIEMBRE	2	3240	222.9
DICIEMBRE	2	1200	119.2

Fuente: SENAMHI

Esta última tabla y la información recolectada se ingresó al software HIDROESTA para el cálculo de intensidad y cálculo del coeficiente de escorrentía, teniendo como resultado la intensidad máxima de ($I=5.18$ mm/hr) y el cálculo del coeficiente de escorrentía ($C=0.9$) y tomando el área máxima 129.34 hectáreas, estos cálculos podemos verlos en la imagen sacado del programa HIDROESTA a continuación.

Ilustración 1: Cálculo de Intensidad

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Cálculo de Q
Cálculo de C
Cálculo de I

Datos:

Distancia al punto más alejado (L): m

Desnivel (H): m

Período de retorno (T): años

La duración es conocida ?

Sí

No

Resultados:

Tiempo de concentración ó duración (tc): min

Intensidad máxima (I): mm/hr

Opciones cálculo:

Provincias Costa Rica

Registro de datos

Ingreso de los tríos de datos T, D, Imáx:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	2.0	1260.0	154.5
2	2.0	1300.0	161.2
3	2.0	1350.0	152.87
4	2.0	800.0	95.45
5	2.0	258.0	16.1
6	2.0	1116.0	35.7
7	2.0	90.0	3.2
8	2.0	222.0	7.8
9	2.0	312.0	34.6
10	2.0	1176.0	81.6
11	2.0	3240.0	222.9
12	2.0	1200.0	119.2
[>]			

Ecuación de cálculo de Imáx:

Calcular
Limpiar
Imprimir
Menú Principal

Crear
Accesar
Excel
Reporte

23:35 30/10/2023

Ilustración 2: Cálculo de Intensidad

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Cálculo de Q
Cálculo de C
Cálculo de I

Datos:

Distancia al punto más alejado (L): m

Desnivel (H): m

Período de retorno (T): años

La duración es conocida ?

Sí

No

Resultados:

Tiempo de concentración ó duración (tc): min

Intensidad máxima (I): mm/hr

Opciones cálculo:

Provincias Costa Rica

Registro de datos

Ingreso de los tríos de datos T, D, Imáx:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

Trío	T (años)	Duración (min)	I máx (mm/hr)
1	2.0	1260.0	154.5
2	2.0	1300.0	161.2
3	2.0	1350.0	152.87
4	2.0	800.0	95.45
5	2.0	258.0	16.1
6	2.0	1116.0	35.7
7	2.0	90.0	3.2
8	2.0	222.0	7.8
9	2.0	312.0	34.6
10	2.0	1176.0	81.6
11	2.0	3240.0	222.9
12	2.0	1200.0	119.2
[>]			

Ecuación de cálculo de Imáx:

Calcular
Limpiar
Imprimir
Menú Principal

Crear
Accesar
Excel
Reporte

23:37 30/10/2023

Ilustración 3: Cálculo del coeficiente de escorrentía

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Cálculo de Q **Cálculo de C** Cálculo de I

Ingreso datos:

Grupo N°: 1

Area (a): has

Zonas no urbanas:

Cobertura: Praderas

Textura: Franco limosa

Pendiente: %

Zonas urbanas: áreas industriales densas

Ágregar

Grupo N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	110	áreas industriales densas			0.9

C ponderado

Resultados:

C ponderado: 0.9

Área total: 110 has

Archivos y resultados:

Calcular Limpiar Imprimir Menú Principal Crear Accesar Excel Reporte

23:51 30/10/2023

Ilustración 4: Cálculo del coeficiente de escorrentía

Cálculo del caudal máximo utilizando el método Racional

Cálculo de Q **Cálculo de C** Cálculo de I

Ingreso datos:

Grupo N°: 1

Area (a): 129.34 has

Zonas no urbanas:

Cobertura: Praderas

Textura: Franco limosa

Pendiente: 1 %

Zonas urbanas: Zonas urbanas

Ágregar

Grupo N°	Área	Cobertura	Textura	Pendiente	C
1	129.34	áreas industriales densas			0.9

C ponderado

Resultados:

C ponderado: 0.9

Área total: 129.34 has

Archivos y resultados:

Calcular Limpiar Imprimir Menú Principal Crear Accesar Excel Reporte

23:56 30/10/2023

Posteriormente ingresado la información se calculó en software HIDROESTA teniendo el resultado del caudal máximo de 1.675 m³/seg., para más detalle se puede apreciar en la siguiente ilustración.

Ilustración 5: Cálculo de caudal



Con el caudal máximo calculado que es de 1.675 m³/s, se multiplica por el tiempo máximo de lluvia que se tuvo en el año 2021, de acuerdo a la tabla 3 (Resumen de precipitación año 2021-Estacion Cerro de Pasco-Yanahuanca), se tuvo en total de 12 324 minutos de lluvia, convirtiendo a segundos tendríamos 739 440 segundos de lluvia, multiplicado con el caudal máximo tendríamos de 1,238,562 m³ de agua acida generada en la relavera de Quiulacocho producto de la lluvia y esorrentía en el exterior.

4.2.3. Información de tratamiento de aguas ácidas por Activos Mineros

SAC

La empresa estatal Activos mineros SAC (AMSAC) estima que se pueden tratar anualmente más de 1,5 millones de metros cúbicos de agua ácida a razón de 50 litros por segundo con un pH medio de 2,5 - 3 y un pH de salida de 8 - 9.

Esta moderna planta de neutralización utiliza hidróxido de calcio como materia prima para neutralizar químicamente el agua ácida. Las aguas tratadas se deriva a la relavera Ocroyoc propiedad de la empresa minera Administradora Cerro S.A.C, aproximadamente a 1 km de la planta. La precipitación separó el sólido y el agua.

Datos técnicos, parámetros de operación:

- La cantidad de aguas ácidas a procesar es de 4320 m³/día (50 l/s).
- El nivel de hierro total registrado es de 3362 mg/l.
- La concentración de hierro disuelto es de 2869 mg/l
- El consumo de Hidróxido de Calcio al 70 +/- 5 % es de 25 t/día.
- La medición de zinc total es de 1144 mg/l.
- La cantidad de zinc disuelto es de 1011 mg/l.
- El pH inicial oscila entre 2.5 y 3.0.
- El pH del agua neutralizada es superior a 7.
- Se estima que el peso de los compuestos precipitados de hierro y zinc es de 19.5 t/día.
- Se calcula que el peso de los insolubles en el hidróxido de calcio es de 12.5 t/día.
- La generación estimada de lodos es de 32 t/día.
- La relación entre el caudal tratado y el volumen de lechada de cal es de 10 a 1.
- La velocidad de sedimentación estimada es de 0.24 cm/minuto.

4.3 Prueba de hipótesis

Nuestra hipótesis inicial de nuestra investigación fue como se menciona a continuación:

“El volumen de aguas ácidas generado por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros y su afectación a los factores ambientales en el distrito de Simón Bolívar de la provincia de Pasco se genera más de 100 m³/mes”.

La hipótesis planteada es válida, ya que se puede evidencia que el caudal máximo tendríamos de 1,238,562 m³ anual de ello realizando la división en 12 meses tendríamos más de 100 000 m³/mes de agua acida generada en la relavera de Quiulacocha lo cual es mayor a lo que se proyectó. También se idéntico que las fuentes de aporte de agua para la generación aguas ácidas en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros son de las precipitaciones y de escorrentía, el volumen de relave presente en la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros supera los 70 millones de toneladas de relave, los factores ambientales que están siendo afectando por las aguas acidas producidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros son al río San Juan, al suelo del contorno de la relavera y a la flora que se encuentra en ella producto del lixiviado que esta en contacto.

4.4 Discusión de resultados

Cumplida nuestra investigación logramos establecer la siguiente discusión:

- Como se detalló anteriormente la relavera en la actualidad genera drenaje acido ya que esta se encuentra descubierto no teniendo ningún tratamiento y menos un plan de acción de cierre, en época de invierno se genera mayor volumen de drenaje ácido. Asimismo, se desconocía el volumen de drenaje de ácido generado.

- Con el software HIDROESTA se calculo el volumen de aguas acidas para ello se alimentó la información de cálculo de intensidad (I), cálculo del coeficiente de escorrentía (C) y área de la relavera Quiulacocha.
- Por otro lado, también se utilizo el programa ArcGis para el calculo de área donde en esta última comprende, desde el contorno de los relaves hasta el contorno de las cunetas de coronación, esta área en estudio se considera ya que en esta zona cae las precipitaciones y son arrastrados llegando estas aguas a la relavera, lo cual también cuenta para calcular el volumen de aguas acidas que se genera en la relavera Quiulacocha, el área en el programa ArcGis donde se tiene 129.34 hectáreas.
- Por otro lado, el ArcGis también nos ayudó a calcular la distancia de punto más alejado que es 2227.04 m y en base a las curvas de nivel se determinó el desnivel que es de 2 m.
- Teniendo como resultado el caudal máximo calculado que es de 1.675 m³/s de ello calculando pro el tiempo de precipitación generado en el los 12 meses del año 2021 tuvimos un caudal de agua acida de 1,238,562 m³ generada en la relavera de Quiulacocha producto de la lluvia y escorrentía en el exterior.

CONCLUSIONES

La investigación ejecutada, finalizó con las conclusiones siguientes:

- i. En la investigación realizada se tiene como resultado el caudal máximo calculado que es de 1.675 m³/s, de ello calculando por el tiempo de precipitación generado en los 12 meses del año 2021 en total de 12 324 minutos de lluvia, teniendo como resultado el caudal de agua ácida de 1,238,562 m³ generada en la relavera de Quiulacocha producto de la lluvia y escorrentía en el exterior.
- ii. Para nuestra investigación se utilizó el software HIDROESTA donde se calculó el volumen de aguas ácidas para ello se alimentó la información de cálculo de intensidad (I), cálculo del coeficiente de escorrentía (C) y área de la relavera Quiulacocha.
- iii. Por otro lado, también se utilizó el programa ArcGis para el cálculo de área donde en esta última comprende, desde el contorno de los relaves hasta el contorno de las cunetas de coronación, esta área en estudio se considera ya que en esta zona cae las precipitaciones y son arrastrados llegando estas aguas a la relavera, lo cual también cuenta para calcular el volumen de aguas ácidas que se genera en la relavera Quiulacocha, el área en el programa ArcGis donde se tiene 129.34 hectáreas.
- iv. Por otro lado, el ArcGis también nos ayudó a calcular la distancia de punto más alejado que es 2227.04 m y en base a las curvas de nivel se determinó el desnivel que es de 2 m.
- v. Asimismo concluimos que las aguas ácidas están siendo tratadas por la empresa estatal Activos mineros SAC (AMSAC) estima que se pueden tratar anualmente más de 1,5 millones de metros cúbicos de agua ácida a razón de 50 litros por segundo con un pH medio de 2,5 - 3 y un pH de salida de 8 - 9.
- vi. Los factores ambientales que están siendo afectados por las aguas ácidas producidas por la relavera Quiulacocha de propiedad de activos mineros son al

río San Juan, al suelo del contorno de la relavera y a la flora que se encuentra en ella producto del lixiviado que esta en contacto.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones propuestas son las siguientes:

- i. La estación de meteorología de Cerro de Pasco tiene deficiencias en la información por lo que se recomienda el mantenimiento a fin de tener información el día a día.
- ii. Se debe difundir la información para que tome medidas de prevención por la entidades autorizadas y supervisoras del estado.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire. (Perú). *Reacciones químicas y biológicas relacionadas con la generación ácida*, 2006. 2006.
- Aduvire, O. (2006). *Reacciones químicas y biológicas relacionadas con la generación ácida*. Perú.
- Cerro SAC. (2013). *Estudio Conceptual: Descarga de Agua de la Relavera Quiulacocha en la Laguna Yanamate Cerro de Pasco*. Ego-Aguirre & Smuda S.A.C.
- Delgado, A. (2013). *Alfaro Delgado (2013) "Medición del Potencial de Generación de Agua Ácida para un Relave en la Zona Central del Perú y sus Necesidades de Neutralización"*. Perú.
- Energeminas. (2017). *Los relaves*. Perú.
- Envitech, C. (2020). *Problemática de aguas ácidas*. Chile.
- Geocontacto. (2022). *HIDROESTA*. España.
- INDECI. (2019). *Relavera Quiulacocha*. Perú.
- MINAM. (2012). *Glosario de terminos*. Perú.
- Normas S. (2020). *Drenaje superficial*.
- Peters, P. (2008). *Drenaje ácido de mina*.
- SENAMHI. (2020). *El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Perú.
- Tutorial del DIA. (2020). *Determinación de Caudales Máximos con el Método Racional*. España.

Velita, L. (2018). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras*. Pasco-Perú.

Vidales, A. (2020). *Problemática ambiental generada por el drenaje ácido de mina en la explotación de yacimientos mineros en Colombia*. Colombia.

Zevallos. (2016). *Análisis del modelo del balance de aguas del tranque de relaves laguna seca y de su impacto económico en los procesos de minería escondida limitada*. Chile.

Zevallos, J. (2016). *Estabilización del drenaje ácido de mina (DAM) de la empresa paraíso perdido Apata*. Perú.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
(Calidad de agua de la relavera Quiulacocho)

Estudio Conceptual: Descarga de Agua de la Relavera Quiulacocho
 en la Laguna Yanamate, Cerro de Pasco

**Enero
2013**

Tabla A1. Datos de Entrada y Modelo de Mezcla (continuación)

Parámetro	Límite de Detección	Estación de Muestreo	Laguna Quiulacocho - temporada húmeda (QU-12 A001)	Laguna Quiulacocho - temporada seca (CP04)	Laguna Quiulacocho - promedio	Mezcla Laguna Yanamate - 3 meses	Mezcla Laguna Yanamate - 6 meses	Mezcla Laguna Yanamate - 12 meses	Mezcla Laguna Yanamate - 2 años
		Unidad							
Volumen	-	m3	-	-	-	-	-	-	-
Flujo	-	L/s	95	32	63,1	-	-	-	-
Parámetros Fisicoquímicos y Aniones Principales									
Fósforo	0,0070	mg P/L	-	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Amónico	0,0040	mgN-NH3/L	-	-	-	-	-	-	-
Sulfuros	0,0010	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	Unid. pH	2,6	2,5	2,6	1,9	1,9	2,0	2,2
Conductividad	1,7000	µS/cm	976	18700	9350	11549	11263	10829	10272
Alcalinidad	1,0000	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Bromuro	0,001	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Cloruros	0,020	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Fluoruros	0,002	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	0,020	mgP-PO4/L	-	-	-	-	-	-	-
Nitratos	0,003	mg N-NO3-/L	-	-	-	-	-	-	-
Nitritos	0,001	mg N-NO2-/L	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	0,015	mg/L	-	26000	13000	12539	12472	12371	12341
Metales Totales									
Plata	0,0001	mg/L	0,0008	<0,01	<0,0001	-	-	-	-
Aluminio	0,0030	mg/L	47,00	85,20	66,10	87,93	85,32	81,36	76,27
Arsénico	0,0001	mg/L	2,98	8,18	5,58	40,39	37,07	32,03	25,56
Boro	0,0005	mg/L	<0,050	<0,1	<0,5	-	-	-	-
Bario	0,0001	mg/L	0,012	0,023	0,018	0,009	0,019	0,011	0,012
Berilio	0,0001	mg/L	0,006	0,007	0,007	0,016	0,015	0,014	0,012
Bismuto	0,0020	mg/L	0,004	-	<0,025	-	-	-	-
Calcio	0,0200	mg/L	262	398	330	325	322	319	314
Cadmio	0,0001	mg/L	1,8	2,5	2,1	1,0	1,1	1,2	1,4
Cobalto	0,0001	mg/L	0,09	0,20	0,15	0,11	0,12	0,12	0,12
Cromo	0,0001	mg/L	0,03	<0,01	<0,01	-	-	-	-
Cobre	0,0002	mg/L	19	34	27	72	68	61	52
Hierro	0,0010	mg/L	1940	4560	3250	2888	2895	2905	2917
Mercurio	0,0001	mg/L	-	0,0003	<0,0001	-	-	-	-
Potasio	0,0030	mg/L	<2,0	-	<4	-	-	-	-
Litio	0,0008	mg/L	0,3	<0,01	<0,01	-	-	-	-
Magnesio	0,0040	mg/L	744	2170,0	1457,0	253,5	354,3	507,4	703,9
Manganeso	0,0001	mg/L	491	1290,0	890,5	211,0	267,3	352,9	462,7
Molibdeno	0,0002	mg/L	0,0171	-	0,0091	-	-	-	-
Sodio	0,0080	mg/L	10,4	27,8	19,1	8,8	9,6	10,6	12,4
Níquel	0,0001	mg/L	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3
Fósforo	0,0060	mg/L	<0,30	-	<0,6	-	-	-	-
Plomo	0,0001	mg/L	0,3	0,3	0,3	1,3	1,2	1,0	0,8
Antimonio	0,0001	mg/L	0,0	-	<0,005	-	-	-	-
Selenio	0,0001	mg/L	<0,0050	<0,2	<0,0001	-	-	-	-
Silicio	0,0050	mg/L	9,1	-	5,9	5,8	5,7	5,7	5,6
Estaño	0,0002	mg/L	<0,00050	-	<0,005	-	-	-	-
Estroncio	0,0001	mg/L	1,0	-	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Titanio	0,0001	mg/L	<0,010	-	<0,02	-	-	-	-
Talio	0,0001	mg/L	0,10	-	0,03	0,29	0,27	0,23	0,18
Uranio	0,0001	mg/L	0,06	-	-	-	-	-	-
Vanadio	0,0003	mg/L	0,05	-	<0,05	-	-	-	-
Zinc	0,0001	mg/L	545	1200,0	872,5	434,2	468,0	519,3	585,3

ANEXO N° 02

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

(Coordenadas para el cálculo del área de la relavera Quiulacocha y área externa de la relavera Quiulacocha)

Tabla 1: Resultado de la georeferencia del área de la relavera de Quiulacocha

ESTACIÓN	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
1A	8818061	360518
2A	8817984	360506
3A	8817951	360482
4A	8817957	360443
5A	8817961	360420
6A	8817941	360399
7A	8817933	360390
8A	8817920	360387
9A	8817920	360377
10A	8817924	360374
11A	8817915	360338
12A	8817913	360325
13A	8817898	360321
14A	8817876	360319
15A	8817876	360307
16A	8817861	360303
17A	8817833	360303
18A	8817822	360296
19A	8817794	360291
20-A	8817782	360294
21A	8817764	360296
22A	8817753	360291
23A	8817738	360290
24A	8817715	360280
25A	8817667	360250
26A	8817660	360231
27A	8817665	360219
28A	8817684	360204
29A	8817675	360182
30A	8817627	360166
31A	8817605	360172
32A	8817593	360178
33A	8817575	360167
34A	8817574	360159
35A	8817533	360129
36A	8817480	360098
37A	8817444	360084

38A	8817417	360075
39A	8817375	360049
40A	8817294	360010
41A	8817267	359996
42A	8817257	360003
43A	8817235	359986
44A	8817221	359967
45A	8817204	359937
46A	8817199	359876
47A	8817159	359793
48A	8817105	359638
49A	8817079	359569
50A	8817049	359566
51A	8817050	359534
52A	8817084	359515
53A	8817109	359419
54A	8817102	359386
55A	8816933	359328
56A	8816831	359314
57A	8816781	359325
58A	8816580	359436
59A	8816519	359477
60A	8816473	359505
61A	8816487	359636
62A	8816502	359746
63A	8816532	359832
64A	8816589	359978
65A	8816616	360038
66A	8816613	360054
67A	8816648	360175
68A	8816676	360271
69A	8816726	360342
70A	8816821	360403
71A	8816863	360436
72A	8816888	360505
73A	8816921	360538
74A	8816982	360578
75A	8817064	360619
76A	8817163	360682
77A	8817191	360721
78A	8817191	360765
79A	8817213	360773
80A	8817224	360748
81A	8817286	360776

82A	8817332	360824
83A	8817412	360847
84A	8817529	360866
85A	8817569	360759
86A	8817743	360672
87A	8817893	360603

Tabla 2: Resultado de la georeferencia del área externa de la relavera de Quiulacochoa

ESTACIÓN	COORDENADA NORTE	COORDENADA ESTE
1B	8818376	360600
2B	8818290	360595
3B	8818229	360582
4B	8818210	360558
5B	8818203	360535
6B	8818232	360488
7B	8818243	360461
8B	8818233	360445
9B	8818217	360440
10B	8818185	360448
11B	8818163	360452
12B	8818127	360470
13B	8818110	360475
14B	8818007	360489
15B	8817989	360480
16B	8817977	360454
17B	8817981	360426
18B	8817981	360413
19B	8817950	360388
20B	8817936	360368
21B	8817928	360315
22B	8817919	360298
23B	8817906	360289
24B	8817791	360274
25B	8817758	360272
26B	8817735	360267
27B	8817716	360264
28B	8817710	360256
29B	8817714	360234
30B	8817715	360198
31B	8817702	360175
32B	8817685	360164
33B	8817602	360148
34B	8817578	360143
35B	8817563	360135
36B	8817516	360104
37B	8817484	360085
38B	8817416	360058
39B	8817358	360028
40B	8817241	359960
41B	8817228	359948

42B	8817221	359896
43B	8817216	359861
44B	8817195	359810
45B	8817171	359766
46B	8817152	359729
47B	8817143	359708
48B	8817131	359655
49B	8817122	359634
50B	8817115	359635
51B	8817098	359581
52B	8817095	359565
53B	8817082	359538
54B	8817114	359465
55B	8817120	359418
56B	8817107	359381
57B	8816942	359314
58B	8816846	359302
59B	8816779	359314
60B	8816467	359499
61B	8816478	359676
62B	8816488	359762
63B	8816506	359849
64B	8816574	359978
65B	8816627	360174
66B	8816641	360197
67B	8816700	360353
68B	8816787	360449
69B	8816855	360469
70B	8816933	360579
71B	8817060	360654
72B	8817157	360706
73B	8817217	360825
74B	8817296	360850
75B	8817415	361010
76B	8817481	361045
77B	8817518	360937
78B	8817616	360837
79B	8817760	360729
80B	8817929	360625
81B	8817995	360618
82B	8818310	360653
83B	8818493	360616