



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“PROPUESTA PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA APLICADO AL PASIVO AMBIENTAL RELAVERA DE LA MINA PAREDONES - SAN PABLO, CAJAMARCA 2018”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Rosa Alexandra Estela Asto

Jonathan Alexander Ramos Paredes

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón

Cajamarca - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Rafael Napoleón Ocas Boñón, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA DE MINAS, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Rosa Alexandra Estela Asto.
- Jonathan Alexander Ramos Paredes.

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: PROPUESTA PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA APLICADO AL PASIVO AMBIENTAL RELAVERA DE LA MINA PAREDONES – SAN PABLO, 2018 para aspirar al título profesional de: INGENIERO DE MINAS por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón
Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Rosa Alexandra Estela Asto y Jonathan Alexander Ramos Paredes para aspirar al título profesional con la tesis denominada: PROPUESTA PARA LA ESTABILIDAD FÍSICA APLICADO AL PASIVO AMBIENTAL RELAVERA DE LA MINA PAREDONES – SAN PABLO, 2018

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza
Jurado
Presidente

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León
Jurado

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán
Jurado

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a nuestros queridos hijos, quienes son el motor para salir adelante y el motivo por el cual nos esforzamos para conseguir nuestras metas. A nuestros padres; por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por todo el amor que ellos nos dan. A nuestros queridos maestros, quienes en todo este tiempo inculcaron sus saberes para ser unos buenos profesionales

Alexandra y Jonathan.

AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud en primer lugar va dirigida a Dios por la vida, salud y todas las bendiciones. Gracias queridos padres, por estar siempre a nuestro lado, por todo su apoyo, por habernos brindado una educación y por habernos permitido ser unos profesionales.

A nuestro asesor, Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón, por todo su tiempo brindado y por sus consejos. Muchas gracias a todos.

Tabla de contenidos

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8-9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III. RESULTADOS	22
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	74
ANEXOS	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Ensayos Estándar	45
Tabla 2- Contenido de humedad y límite de consistencia de calicatas.	46
Tabla 3- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 03.	48
Tabla 4- Clasificación de suelos según Sistema de Clasificación de Suelos.....	50
Tabla 5- Especies vegetales presentes en la zona de estudio.	54
Tabla 6- Especies animales presentes en la zona de estudio.	56
Tabla 7- Factor de talud Horizontal.....	62
Tabla 8- Calculo de costos de Cobertura del depósito de relaves.	67
Tabla 9- Calculo de costos de Cobertura de Talud.....	68
Tabla 10- Calculo de costos de Gaviones y Canales Perimetrales.	69
Tabla 11- Calculo de costos de Personal y Costos Totales del proyecto.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1- Ubicación Geográfica de la zona de investigación. (Ver anexo 05).	22
Ilustración 2- Ubicación Política de la zona de investigación.	23
Ilustración 3- Accesibilidad a la zona de investigación.	24
Ilustración 4- Temperatura máxima y mínima promedio.	25
Ilustración 5- Categorías de nubosidad.	26
Ilustración 6- Probabilidad de precipitación.	27
Ilustración 7- Precipitación de lluvia mensual promedio.	28
Ilustración 8- En la imagen podemos ver algunas especies de arbustos de la zona de estudio.	29
Ilustración 9- Red Hídrica, alrededores de relave minero.	30
Ilustración 10- Mapa con la geología regional de Cajamarca.	31
Ilustración 11- Geología de alrededores de la zona de relave minero Paredones.	32
Ilustración 12- Plano Geológico de la zona de estudio. (Ver anexo 06).	34
Ilustración 13- Familias de diaclasas, costado del relave.	35
Ilustración 14- Estación Geomecánica 01.	36
Ilustración 15- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 01.	37
Ilustración 16- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01.	38
Ilustración 17- Estación Geomecánica 02.	39
Ilustración 18- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 02.	40
Ilustración 19- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01.	41
Ilustración 20- Estación Geomecánica 03.	42
Ilustración 21- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 03.	43
Ilustración 22- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 03.	44
Ilustración 23- Talud del relave minero Paredones, el cual se encuentra prácticamente a orillas del río San Pablo.	45
Ilustración 24- Factor de Seguridad actual del Talud de la relavera Paredones: 1.25 (antes de la evaluación de la estabilidad física).	43
Ilustración 25- Análisis de estabilidad del talud Relave Paredones, con la construcción de bancos, Factor de Seguridad: 1.34. (después de la propuesta de estabilidad)	44

Ilustración 26- Equipos usados para los ensayos de mecánica de suelos.....	46
Ilustración 27- Contenido de Humedad en porcentaje versus, número de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 01.....	47
Ilustración 28- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 02.....	47
Ilustración 29- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 03.....	48
Ilustración 30- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 01.	49
Ilustración 31- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 02.	49
Ilustración 32- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 03.	50
Ilustración 33- Material orgánico depositado sobre el material de relave.....	51
Ilustración 34- Material expuesto desértico, se evidencia desde la corona hasta el pie de talud.	52
Ilustración 35- Mineral color blanco producto de la evaporación de aguas depositadas en el lugar.....	53
Ilustración 36- Especies vegetales (Arbustos) presentes en la zona de estudio.	55
Ilustración 37- Grafico de Gaviones de estabilidad.....	58
Ilustración 38- Grafico de cobertura para la zona 01.	64
Ilustración 39- Grafico de cobertura para la zona 02.	65
Ilustración 40- Grafico de cobertura para la zona 03.	66

ÍNDICE DE ECUACIONES

Calculo de cuña de suelo sobre cada bloque	57
Calculo por las dos cuñas	57
Factor de seguridad por volcamiento.....	57
Factor de seguridad por deslizamiento	57
Calculo de caudal de diseño	58
Calculo de la capacidad del canal.....	60

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar una propuesta para la estabilidad física aplicado al pasivo ambiental relavera en la mina Paredones, el cual se encuentra ubicado en el distrito de Chilete, Provincia de San Pablo, Región de Cajamarca.

Se realizó diferentes estudios, con el fin de proponer el método más efectivo de estabilidad en esta zona; se realizó un muestreo de suelos mediante la realización de calicatas, para luego continuar con el análisis de laboratorio, también se realizó la toma de datos geomecánicos del macizo rocoso del relave, para determinar la resistencia de la roca mediante el uso de software especializado. Ha sido importante también conocer la topografía de la zona de la relavera y su alrededor para que de esta manera, poder diseñar los métodos de remediación y control de aguas de este pasivo ambiental minero.

Como resultado se obtuvo que los suelos son una arcilla inorgánica medianamente plástica, conociendo este resultado más la topografía de la zona se determinó el factor de seguridad del talud de la relavera, el cual cumple con la estabilidad requerida; mediante el procesamiento geomecánico de las estaciones se determina que la resistencia del macizo rocoso es buena. Planteándose así un sostenimiento en la zona del talud con una cobertura vegetal y una defensa ribereña mediante la colocación de gaviones. En cuanto al control de aguas acidas en el relave, se plantea la construcción de canales perimetrales, con tal de que las aguas de las precipitaciones no discurran directamente en la relavera, previniendo la contaminación en el río Sn Pablo y aguas debajo de este.

Palabras clave: Relavera, cobertura vegetal, canal perimetral, factor de seguridad.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es una actividad vital para el desarrollo de la humanidad ya que proporciona los materiales que esta necesita para mejorar la calidad de vida de la población. En países como el Perú, ricos en recursos minerales y con ancestral tradición minera, es de gran importancia para el crecimiento de la economía nacional. Sin embargo, la minería ocasiona una serie de impactos positivos y negativos en el ambiente, los que son necesarios identificar para potenciar los positivos y reducir los negativos de manera de alcanzar un balance favorable. La imagen generalizada de la minería es negativa, en buena medida por los llamados pasivos ambientales dejados por operaciones mineras tanto antiguas como recientes correspondientes hasta fines del siglo pasado, antes de que se promulgara en el Perú la copiosa legislación ambiental minera que la encausa, muy en particular en el aspecto del cierre de la mina regulado por la ley 28090 promulgada el 14 de octubre del 2003. (Cedrón, 2013)

En la referida ley, el plan de cierre de minas constituye una herramienta de gestión ambiental que según ella misma refiere, "está conformada por acciones técnicas y legales, efectuadas por los titulares mineros, destinadas a establecer medidas que se deben adoptar a fin de rehabilitar el área utilizada o perturbada por la actividad minera para que esta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la preservación paisajista". En síntesis, se trata de devolverle a la naturaleza, un ecosistema lo más parecido a lo

existente antes de que se iniciara la actividad minera, a esto se denomina "Rehabilitación de Pasivos Mineros". (Sánchez, 2015)

En la Región Cajamarca, las actividades extractivas pasadas nos dejaron más de mil zonas consideradas pasivos ambientales mineros. Al mismo tiempo, el hecho que muchas empresas mineras compitan sobre el uso del territorio y que el Estado, a través de un conjunto de normas que favorecen a la actividad extractiva, busque darle mayor valor agregado a este espacio, ha generado procesos de conflictividad y movilización social que emanan de la convivencia y del compartir de espacios comunes. Esto sucede en la provincia de San Pablo, en específico en el distrito de San Bernardino donde los relaves mineros se ubican cerca al cauce del río San Pablo, por lo cual se debería considerar la estabilidad en el talud del relave para evitar un fallamiento del mismo el cual provocaría una contaminación de suelos y aguas en un área de una dimensión considerable, de la misma manera la rehabilitación y cobertura de los terrenos adyacentes a la relavera, incluyendo un programa social para la población aledaña a esta unidad minera. (Sánchez, 2015)

El propósito de esta investigación es presentar una propuesta para la estabilidad física del relave minero, teniendo en consideración la resistencia del macizo rocoso y demás parámetros que nos permitan evitar un colapso de esta estructura la cual podría afectar considerablemente al río San Pablo y a las comunidades aguas abajo. Todo esto bajo los reglamentos y Normativas legales del Ministerio de energía y minas del Perú (MEM).

Antecedentes:

Internacionales

Yurisch. (2016). Situación de los Pasivos Ambientales Mineros en Chile el caso de los depósitos de relaves. Este trabajo realiza un estudio acerca de los pasivos ambientales mineros en Chile. El tratamiento de los pasivos mineros que propone Sernageomin considera las etapas de inventario y caracterización de las minas abandonadas o paralizadas y sus instalaciones, la evaluación de riesgo y su clasificación, y la priorización y propuesta de remediación.

En la elaboración de este documento se pudo constatar, mediante la información que dispone Sernageomin al año 2015, que el país registra 356 depósitos de relaves inactivos, 95 abandonados y 39 sin información de su estado operacional, muchos de estos sin un tratamiento de impactos ambientales, debido al alto porcentaje de faenas abandonadas que no están siendo abordadas por la Ley N° 20.551. En cuanto a la situación en la que se encuentran los depósitos de relaves mineros, al observar diversas experiencias de localidades que han presentado problemáticas ambientales, producto de una mala gestión y cierre de depósitos relaves, y revisar información disponible de informes especializados, se puede constatar que entre las diversas fallas que han sufrido los depósitos, la más recurrente es la licuefacción durante la ocurrencia de sismos.

Rivera. (2014). Análisis Ambiental de la Normativa aplicada a los planes de cierre de faenas mineras en Chile. Esta investigación define las variables ambientales que no son consideradas en la legislación actual, en cuanto a la

regulación de los planes de cierre, justificar la futura legislación considerando la magnitud de los pasivos ambientales generados por el cierre y abandono de minas y principalmente, destacar la importancia de que las empresas mineras preparen y mantengan planes de cierre, que contengan todos los aspectos técnicos, que aborden la minimización y compensación de los impactos ambientales, su control y un modelo de financiamiento que haga posible su aplicación y cumplimiento con la debida fiscalización por organismos de Estado.

Nacionales

Corzo. (2015). Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima. Nos dice que los pasivos ambientales mineros constituyen una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico porque exponen al ambiente los sulfuros y, como resultado, estos producen drenaje ácido de mina. Estas aguas ácidas liberan los metales y metaloides (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn y As) los cuales son transportados por los cursos de agua y pueden llegar hasta el hombre por medio de la bioacumulación en la cadena trófica. Este es el caso de los relaves de la antigua Compañía Minera Millotingo ubicados en el cauce del río Aruri en la parte alta de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, donde, aguas abajo, las comunidades de San José de Párac y San Antonio utilizan este recurso para regar sus cultivos de papa y alfalfa en época de estiaje.

Sin duda, el caso de estudio presentado resulta complejo, por ello fue necesario abordarlo bajo un enfoque multidisciplinario. De esta manera, se han utilizado métodos físicos y químicos, como la microscopía y espectrometría, para verificar la existencia de sulfuros y medir la calidad de agua de los ríos Aruri y Rímac. Asimismo, se ha adecuado el enfoque ecosistémico para levantar información socioeconómica de las comunidades estudiadas. Finalmente, mediante la evaluación social multicriterio se ha identificado a los diferentes actores y sus discursos frente a la problemática de los pasivos de la microcuenca quebrada Párac.

Valverde. (2013). Diagnóstico y Propuesta de remediación ambiental de la cuenca Torres y Vizcarra afectada por la actividad minera metalúrgica. El presente trabajo trata de mostrar una alternativa de mitigación del impacto ambiental ocasionado por la actividad minera pasada y presente en las zonas que están empleadas en la cuenca del río Torres y Vizcarra. Las aguas superficiales de la cuenca Torres y Vizcarra fueron y consideramos que son apropiados para diversos usos, principalmente para fines de riego, es decir apropiadas para diferentes cultivos en casi cualquier tipo de suelo por lo que merece evitar la contaminación. Sin embargo, la calidad del agua para otros usos se ve afectada por la presencia de contaminantes en concentraciones altas, superiores a sus respectivos límites máximos permisibles (LMP), siendo lo más persistente la presencia de metales pesados, este se debe en parte a procesos naturales y por otro lado al aporte de desechos sólidos como relaves, escorias, desmontes, drenajes de galerías y socavones.

Locales

Grufides. (2015). Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca. El presente material busca servir como documento de apoyo a autoridades locales y comunales aledañas a las zonas donde existen pasivos ambientales mineros para brindar un mayor conocimiento sobre el tema y generar mayor institucionalidad, organización y compromiso en la fiscalización y exigencia de procesos de remediación ambiental de estas zonas contaminadas. Muchas de las actividades extractivas que buscan instalarse en zonas de pasivos ambientales, tienen problemas para su desarrollo debido a que en la memoria colectiva de la población están presentes las innumerables zonas contaminadas y la duda de que, luego que las actividades de extracción de minerales acaben, la historia de contaminación se repita como pasó en décadas pasadas.

Cajamarca es una región rural y posee, de acuerdo al Censo Agropecuario 2012, el mayor número de unidades agropecuarias 329,650, el mayor número de productores agropecuarios, 339,979, así como el mayor número de cabezas de ganado vacuno 724,478. Posee una superficie agrícola (bajo riego y seco) de 523 mil hectáreas. Las actividades extractivas pasadas nos dejaron en esta región más de mil zonas consideradas pasivos ambientales mineros.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las principales características geotécnicas y geomecánicas del terreno donde se ubica la relavera de la Mina Paredones con tal de realizar una propuesta para la estabilidad física aplicada al pasivo ambiental minero?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar una propuesta para la estabilidad física aplicado para el pasivo ambiental relavera en la mina Paredones.

1.3.2. Objetivos específicos

- Conocer las propiedades geomecánicas y geotécnicas del terreno donde se ubica el pasivo ambiental minero relavera.
- Conocer las condiciones físicas actuales del área de investigación.
- Proponer un control para los drenajes ácidos de la relavera Paredones.
- Proponer un método de rehabilitación y cobertura de las áreas afectadas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Mediante el diseño y la construcción de canales de drenaje, el perfilado de taludes y el establecimiento y cobertura de terrenos aledaños en el cierre de mina, se garantizará la estabilidad física, e hidrológica en la zona del relave de la mina de Paredones. Con la finalidad de otorgar una condición ambiental y social segura en el área de influencia de esta unidad minera.

1.4.2. Hipótesis Específica

- Las condiciones geomecánicas y geotécnicas actuales del terreno del relave minero Paredones son estables, para realizar la estabilidad física de la relavera.
- Conocer las condiciones físicas actuales del pasivo ambiental relavera de la mina Paredones ayudará a garantizar que la propuesta de estabilidad física sea la adecuada.
- La propuesta de rehabilitación física del pasivo ambiental relavera de la mina Paredones garantizará la estabilidad física.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Esta investigación es No Experimental, transversal de tipo exploratorio y descriptivo, en el cual finalmente los datos de campo serán analizados para poder tomar una decisión con respecto a un método de estabilidad física para el relave minero en la zona.

2.2. Unidad de estudio

Pasivo ambiental minero relavera de la mina Paredones en San Pablo - Cajamarca.

2.3. Población

Los pasivos ambientales de la Mina Paredones en San Pablo, Cajamarca.

2.4. Muestra (muestreo o selección)

El pasivo ambiental relavera de la Mina Paredones en San Pablo, Cajamarca.

2.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

La técnica empleada para la recolección de datos fue el análisis documental.

Este proceso de recolección de datos se realizó mediante fichas validadas (Instrumentos de análisis documental), que permiten obtener información de campo.

(Ver anexo 14)

2.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

El método empleado fue el analítico, que consta en tabular los datos geotécnicos y geomecánicos para luego obtener un factor de seguridad y dar una propuesta que garantice la estabilidad física del pasivo ambiental relavera de la Mina Paredones.

El procedimiento de investigación se desarrolló mediante tres etapas, que a continuación se describen:

- **Etapas preliminar de gabinete**

En esta etapa se realizó la revisión bibliográfica, referente a Estabilidad física aplicado al pasivo ambiental minero, Mecánica de Rocas, análisis de imágenes satelitales, informes y trabajos anteriores. Además, ver las rutas de acceso y realizar el cronograma de actividades.

- **Etapas de campo**

Se desarrolló cartografiado geológico, geotécnico, descripción del macizo rocoso, condiciones de los materiales y toma de datos para la caracterización geomecánica, muestreo por calicatas para la caracterización geotécnica.

- **Etapas de gabinete**

Procesamiento de datos obtenidos en campo, análisis de imágenes satelitales, caracterización de rocas, análisis con software, redacción del informe y elaboración de los planos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aspectos Generales

3.1.1. Ubicación Geográfica

Geográficamente la zona de estudio se encuentra al SW de la ciudad de Cajamarca la cual pertenece a la provincia de Contumazá y departamento de Cajamarca en la zona norte del Perú, en la cadena occidental de los Andes.

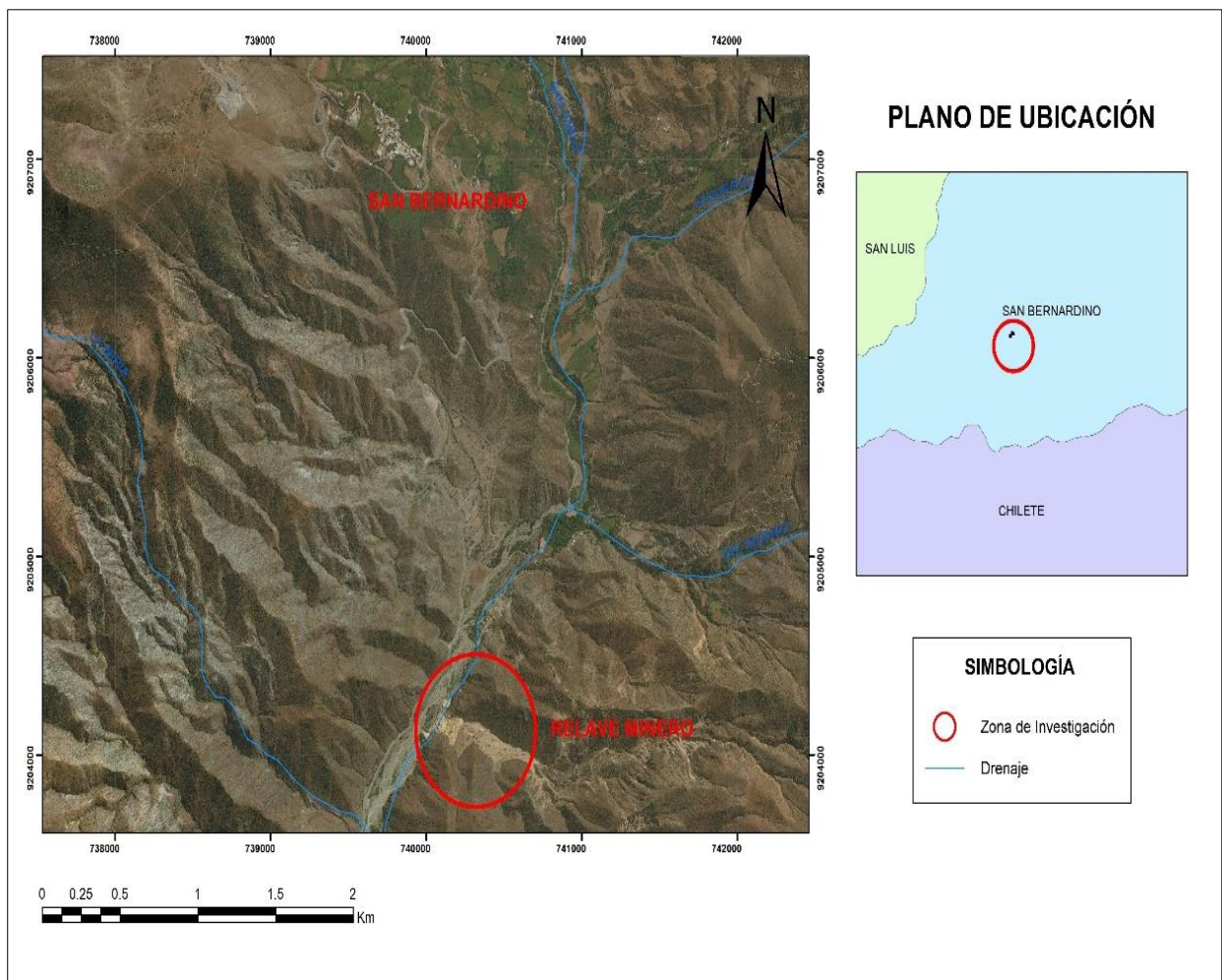


Ilustración 1- Ubicación Geográfica de la zona de investigación. (Ver anexo 05).

Fuente: Elaboración propia.

Políticamente la zona de estudio se encuentra en:

- Departamento: Cajamarca
- Provincia: Contumazá
- Distritos: Chilete

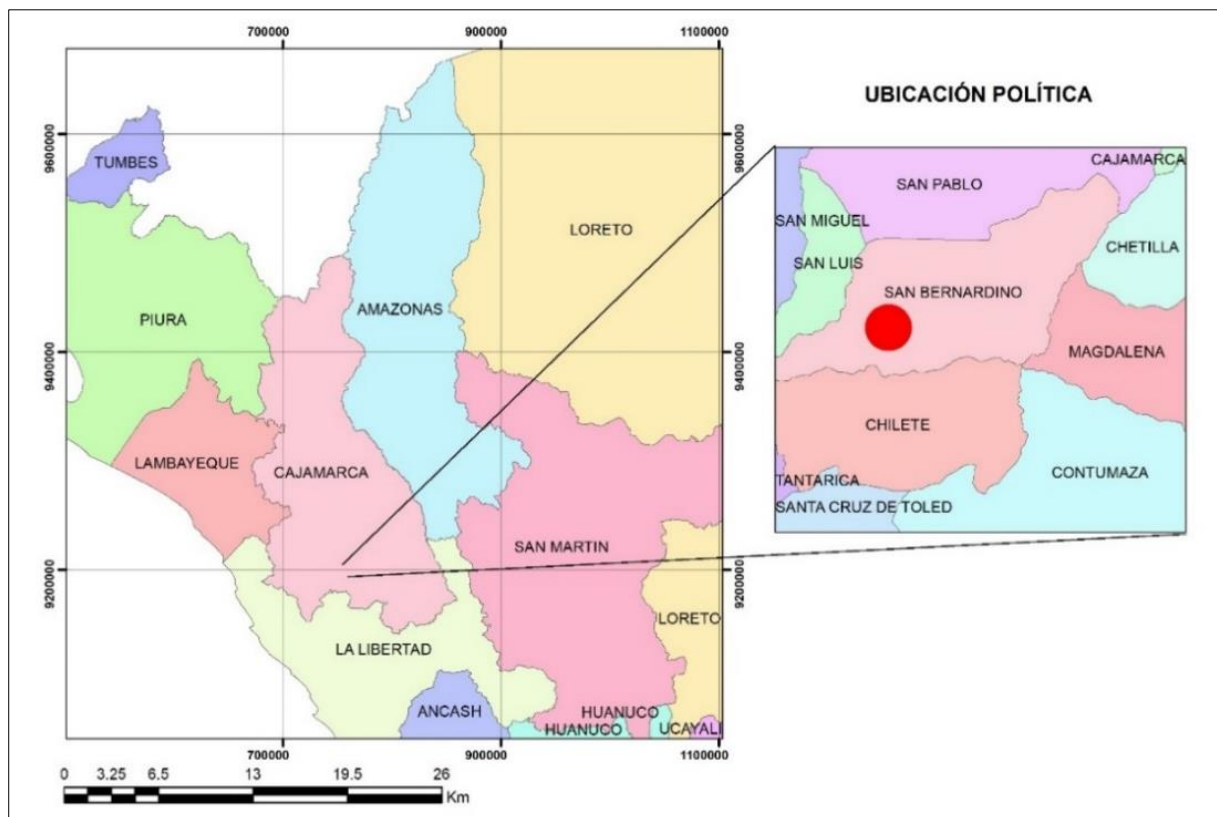
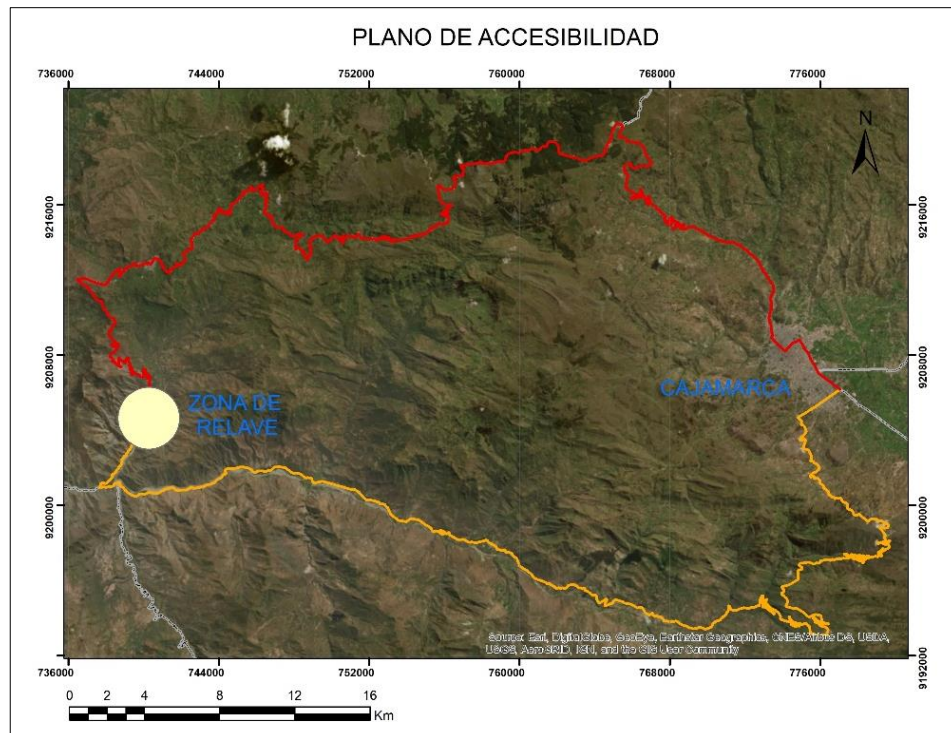


Ilustración 2- Ubicación Política de la zona de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Accesibilidad



*Ilustración 3- Accesibilidad a la zona de investigación.
Fuente: Elaboración propia.*

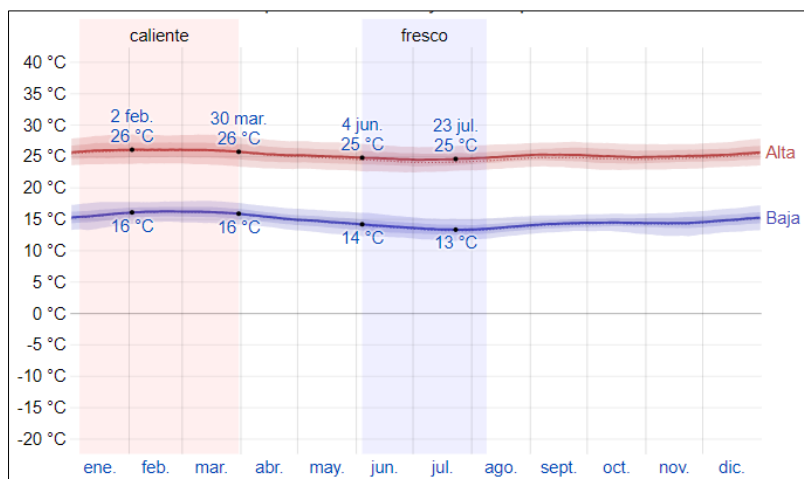
La zona de estudio se encuentra en la provincia de Contumazá a 93 km de distancia desde la ciudad de Cajamarca hasta Chilete.

3.1.3. Clima

- **Temperatura**

La temporada templada dura 2,8 meses, del 5 de enero al 30 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El día más caluroso del año es el 2 de febrero, con una temperatura máxima promedio de 26 °C y una temperatura mínima promedio de 16 °C.

La temporada fresca dura 2,1 meses, del 4 de junio al 8 de agosto, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 25 °C. El día más frío del año es el 23 de julio, con una temperatura mínima promedio de 13 °C y máxima promedio de 25 °C.



*Ilustración 4- Temperatura máxima y mínima promedio.
Fuente: SENAMHI. 2016*

Nota: La temperatura máxima (línea roja) y la temperatura mínima (línea azul) promedio diario con las bandas de los percentiles 25° a 75°, y 10° a 90°. Las líneas delgadas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Fuente: (SENAMHI 2016).

- **Nubes**

En Chilete, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en Chilete comienza aproximadamente el 28 de abril; dura 5,2 meses y se termina aproximadamente el 2 de octubre. El 1 de agosto, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 71 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 29 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 2 de octubre; dura 6,9 meses y se termina aproximadamente el 28 de abril. El 5 de marzo, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 85 % del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 15 % del tiempo.

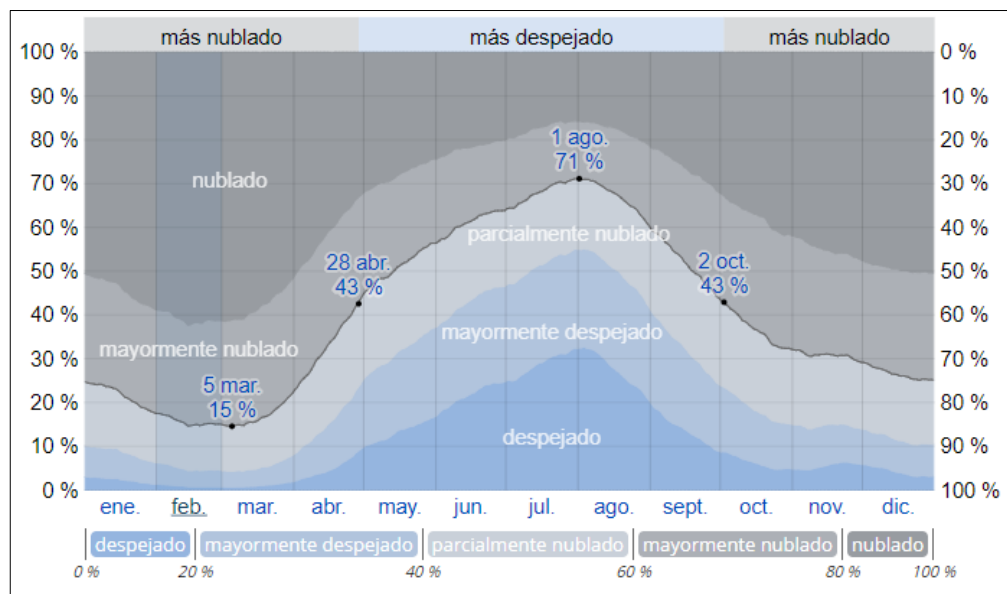


Ilustración 5- Categorías de nubosidad.

Fuente: SENAMHI. 2016

El porcentaje de tiempo pasado en cada banda de cobertura de nubes, categorizado según el porcentaje del cielo cubierto de nubes. **Fuente:** (SENAMHI 2016).

- **Precipitación**

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Chilete varía durante el año.

La temporada más mojada dura 6,7 meses, de 9 de octubre a 29 de abril, con una probabilidad de más del 14 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 28 % el 28 de marzo.

La temporada más seca dura 5,4 meses, del 29 de abril al 9 de octubre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % el 22 de julio.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 28 % el 28 de marzo.

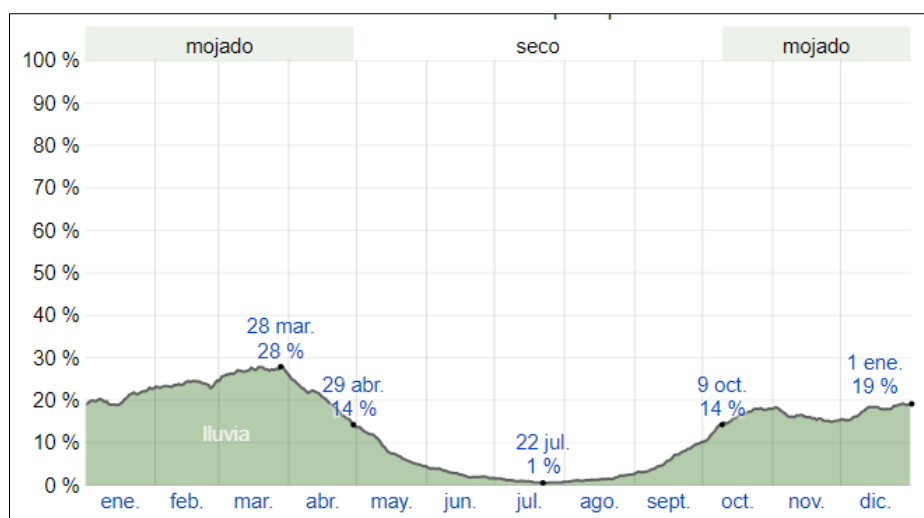


Ilustración 6- Probabilidad de precipitación.

Fuente: SENAMHI. 2016

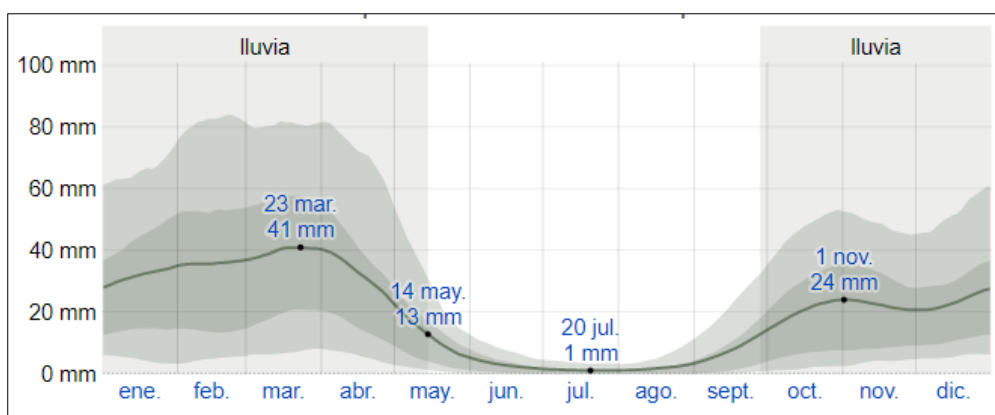
El porcentaje de días en los que se observan diferentes tipos de precipitación, excluidas las cantidades ínfimas: solo lluvia, solo nieve. **Fuente:** (SENAMHI 2016).

- **Lluvia**

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período móvil de 31 días centrado alrededor de cada día del año. Chilete tiene una variación ligera de lluvia mensual por estación. La temporada de lluvia dura 7,6 meses,

del 28 de septiembre al 14 de mayo, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros.

La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 23 de marzo, con una acumulación total promedio de 41 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 4,4 meses, del 14 de mayo al 28 de septiembre. La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 20 de julio, con una acumulación total promedio de 1 milímetros.



*Ilustración 7- Precipitación de lluvia mensual promedio.
Fuente: SENAMHI. 2016*

La lluvia promedio (línea sólida) acumulada en un periodo móvil de 31 días centrado en el día en cuestión, con las bandas de percentiles del 25° al 75° y del 10° al 90°. La línea delgada punteada es el equivalente de nieve en líquido promedio correspondiente. **Fuente:** (SENAMHI 2016).

3.1.4. Flora y Fauna

- **Flora**

La vegetación de la zona de estudio es muy variada, principalmente existe presencia de árboles, arbustos, y algunas especies de cactus se pueden observar en los alrededores de este relave minero.

Entre algunas de las especies de arbustos se encuentran: el Palo Santo, Espinillo y Overo.



Ilustración 8- En la imagen podemos ver algunas especies de arbustos de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

- **Fauna**

Debido a la actividad minera en la zona, diferentes especies de animales han sido afectados, por lo que existe poca presencia de fauna, tanto terrestre así como de aves, así mismo no se encuentra ninguna especie de peces en el río San Pablo.

3.1.5. Hidrología

La zona de investigación presenta varias quebradas donde las aguas de estas van a dar a las aguas del río Chilote cuyas aguas van a dar al río Tembladera y con la unión de estos y otros ríos forman la cuenca del Jequetepeque la cual va a parar hasta el océano Pacífico.

Por lo cual se debería tener un verdadero control en el drenaje de las aguas que escurren a partir las precipitaciones en los meses de lluvia en el área donde se encuentra la ubicada la relavera Paredones.

El río principal de la zona de estudio es el río San Pablo el cual es un efluente del río Jequetepeque que se encuentre en frente y al costado del depósito de relave de la mina Paredones.

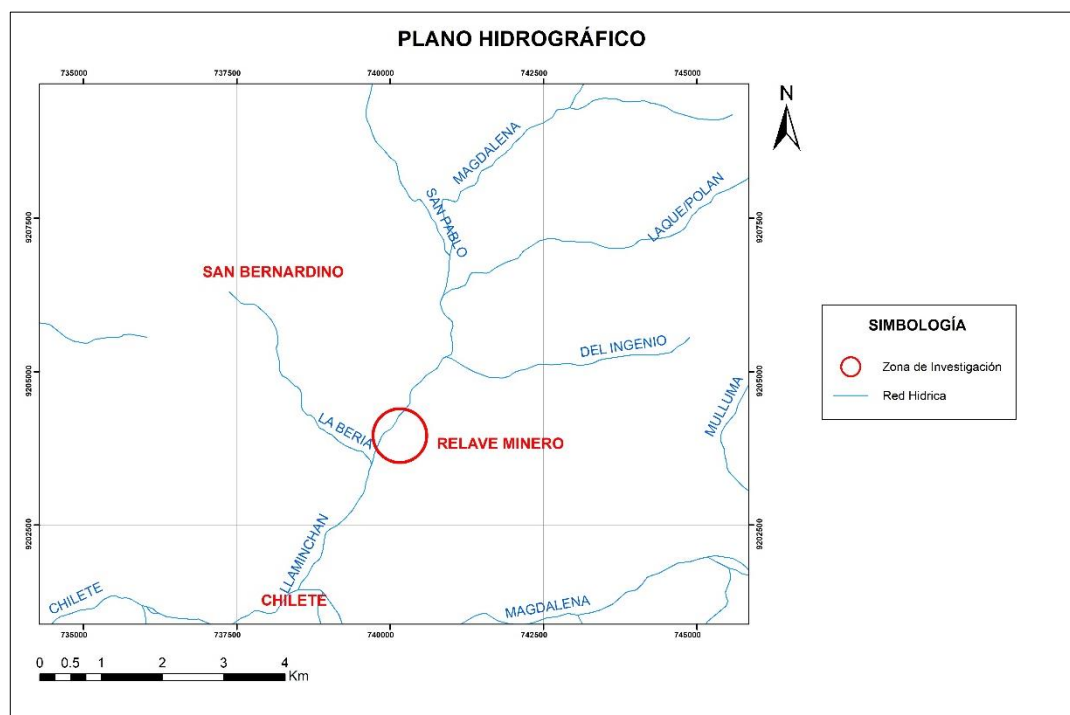


Ilustración 9- Red Hídrica, alrededores de relave minero.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Marco Geológico

3.2.1. Geología Regional

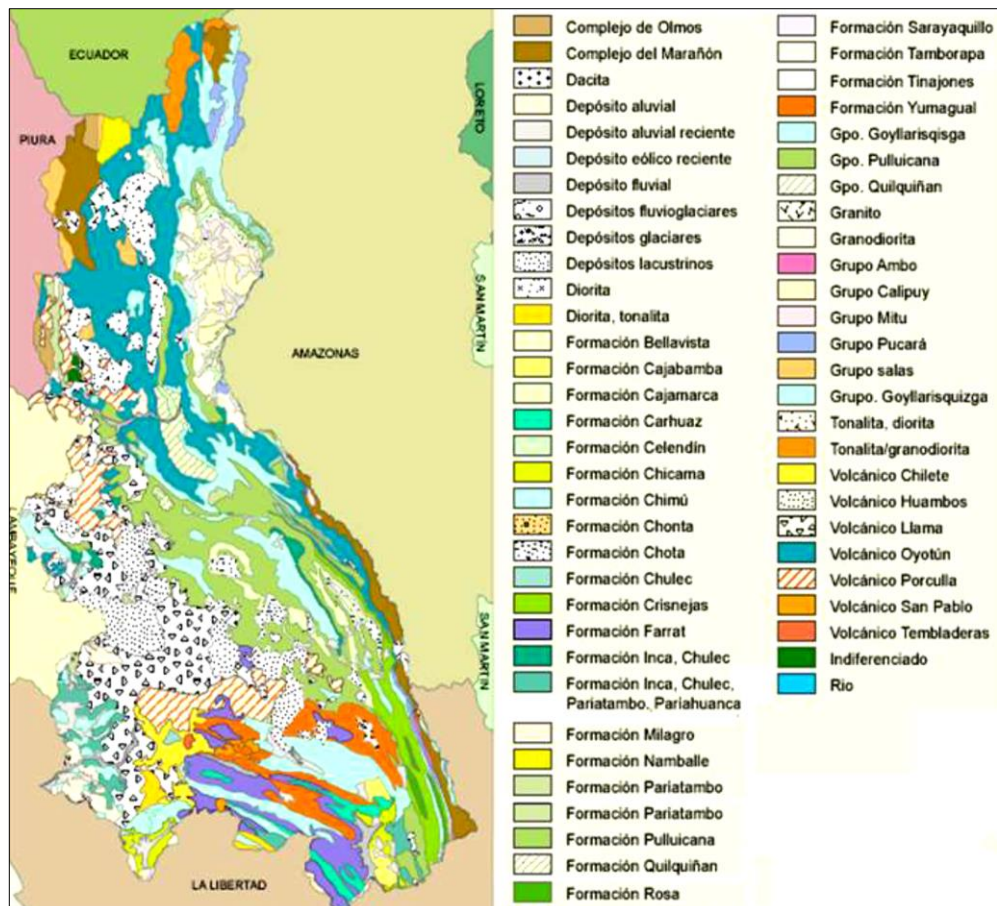


Ilustración 10- Mapa con la geología regional de Cajamarca.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Geología Local

- Volcánico Chilete

Litológicamente consiste de intercalaciones tobáceas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos, mayormente andesíticos, bien estratificados.

La proporción volcánica es mayor y presenta matices que van desde el verde-violáceo hasta el gris claro. Las areniscas son generalmente rojizas y muchas veces incluyen granos casi enteros de feldespatos. En la base los conglomerados son de cuarcita. El espesor del volcánico Chilete es aproximadamente de 800 metros.

Edad y correlación. - por ausencia de fósiles y datos radiométricos, y basándose en sus relaciones estratigráficas con las unidades infra y suprayacentes, la edad del volcánico Chilete es asignada al Paleógeno-Neógeno. Se correlaciona con los volcánicos que yacen discordantemente sobre la formación Casapalca, en la vertiente oriental de la cordillera occidental del centro del Perú.

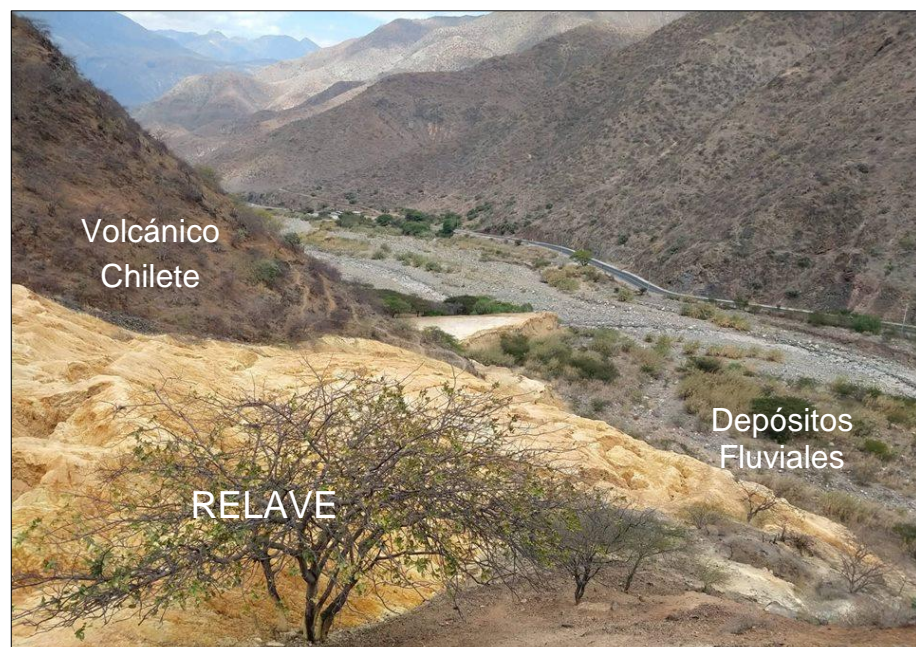


Ilustración 11- Geología de alrededores de la zona de relave minero Paredones.

Fuente: Elaboración propia.

- **Volcánico Tembladera**

Se denomina volcánico Tembladera a una secuencia de rocas volcánicas moderadamente plegadas, bien estratificadas. Litológicamente la parte inferior se compone de bancos andesíticos que se intercalan con brechas de la misma naturaleza, con matices gris verdoso; hacia la parte superior abundan tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas, alternantes con delgados lechos de areniscas y lutitas tobáceas, verdosas o moradas. El grosor aproximado es de 1000 metros.

Edad y correlación. - en ausencia de datos paleontológicos y radiométricos, la edad del volcánico Tembladera puede definirse en base a sus relaciones estratigráficas. La unidad reposa en discordancia angular sobre las series cretáceas marinas en algunos lugares y en otros en probable discordancia paralela sobre la formación Huaylas del Paleógeno- Neógeno.

- **Depósitos Cuaternarios Fluviales**

Están representados por la acumulación de materiales transportados por cursos fluviales, depositados en el fondo y riberas de los ríos. Consisten de gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limoarcillosos. Estos depósitos fluviales están localizados en la parte baja del relave.

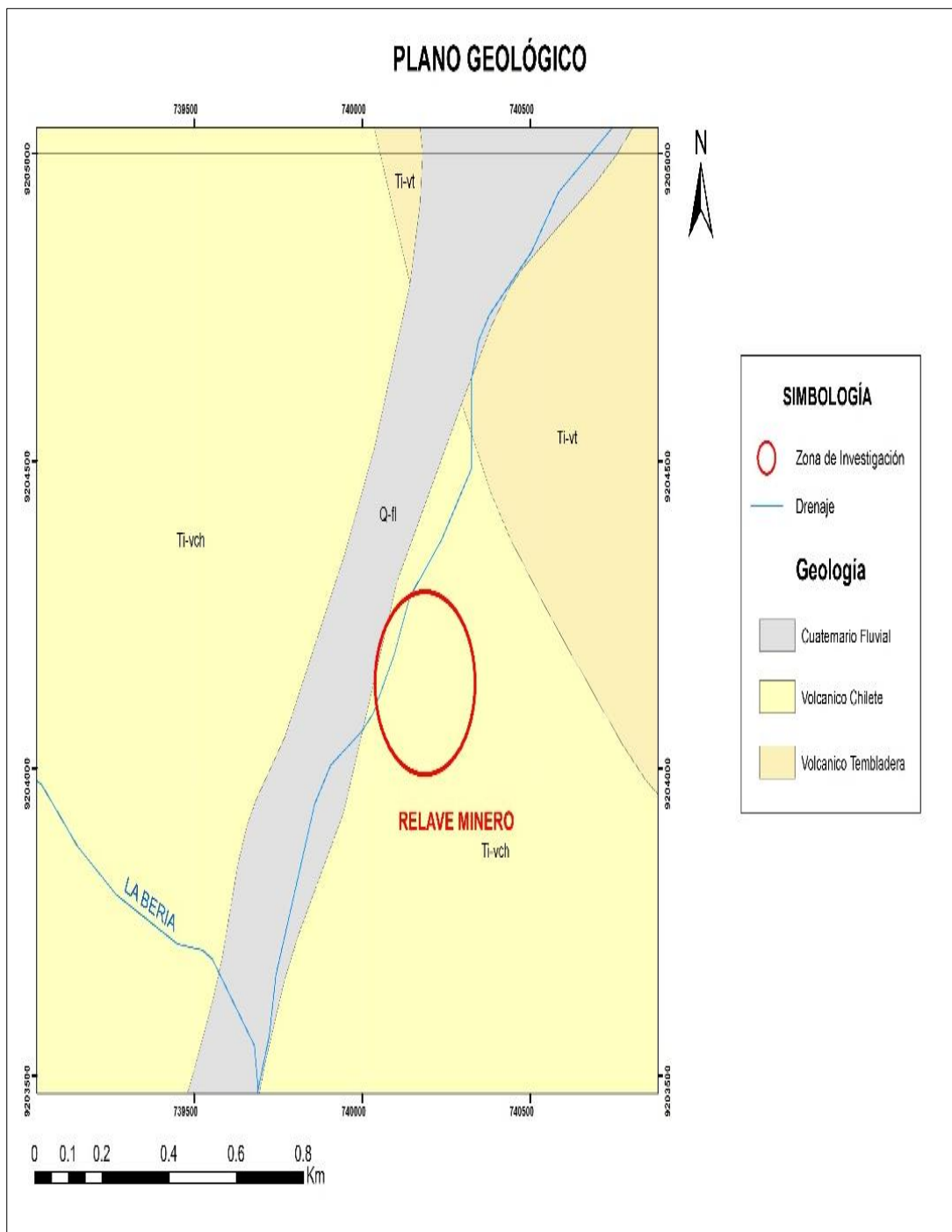


Ilustración 12- Plano Geológico de la zona de estudio. (Ver anexo 06).

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Geología Estructural

- Diaclasas

Las diaclasas son fracturas en las rocas que no van acompañadas de deslizamiento de los bloques que determina, no siendo el desplazamiento más que una mínima separación transversal. Se distinguen así de las fallas, fracturas en las que si hay deslizamiento de los bloques. Son estructuras muy abundantes en el área. Son deformaciones frágiles de las rocas del Volcánico Chilite alrededor del relave minero Paredones. A continuación, se detalla esta información.



Ilustración 13- Familias de diaclasas, costado del relave.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis Geomecánico

Con la finalidad de caracterizar geomecánicamente el macizo rocoso, se realizaron 3 estaciones geomecánicas (utilizando el mapeo de líneas de detalle) distribuidas convenientemente en el área del relave minero.

a) Estación Geomecánica 01 (EG-01):

Coordenadas		
Este	Norte	Cota
740263	9204166	976

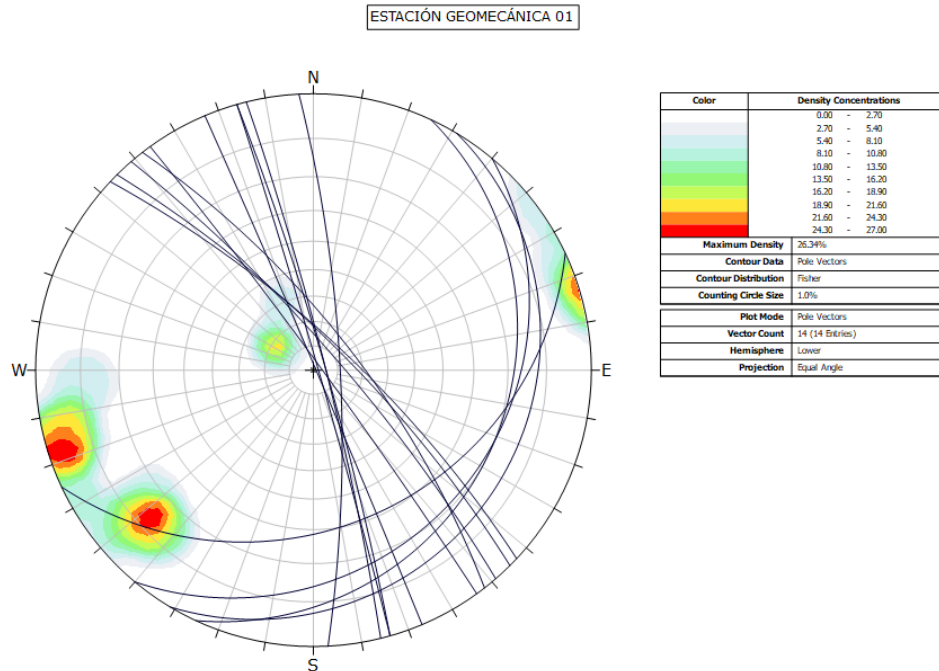


Ilustración 14- Estación Geomecánica 01.

Fuente: Elaboración propia.

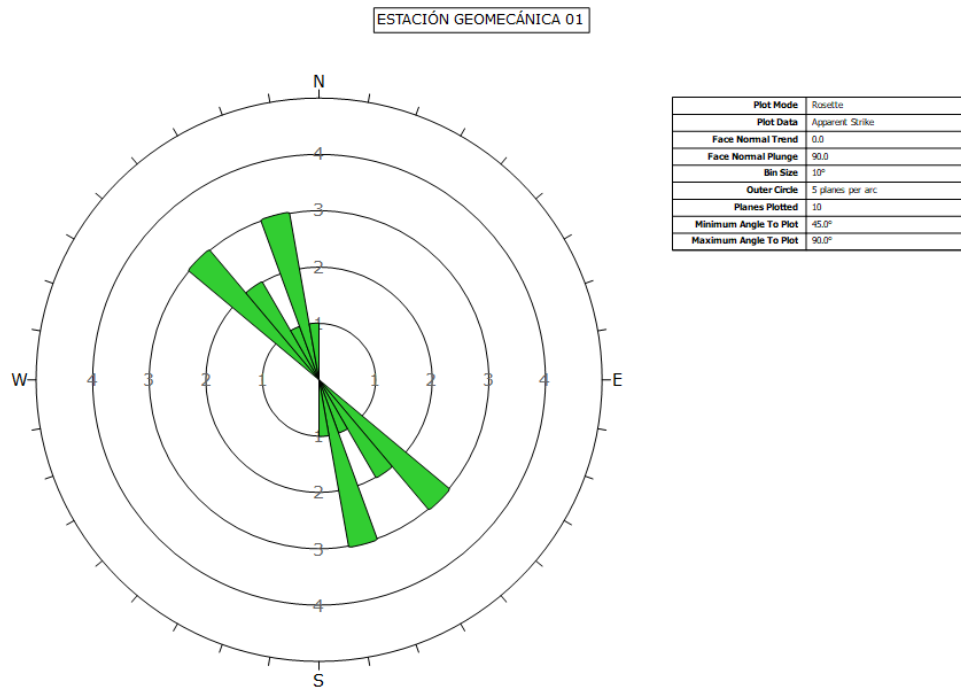
De la ilustración 14, Estación Geomecánica 01, se puede observar 4 familias de diaclasas en las rocas del volcánico Chilete, la longitud o persistencia de las fracturas varían de 0.5 a 2.5 m, con espaciamentos entre 0.1 a 0.4 m, aperturas < 0.02 , sin relleno y sin presencia de agua en todos los casos.

A continuación, se realiza el análisis de la estación con el software Dips:



*Ilustración 15- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 01.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 15, Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 01, se puede observar una mayor concentración de polos en la dirección S50°W.



*Ilustración 16- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 16, Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01, se observan varias familias de fracturas que se intersectan.

b) Estación Geomecánica 02 (EG-02):

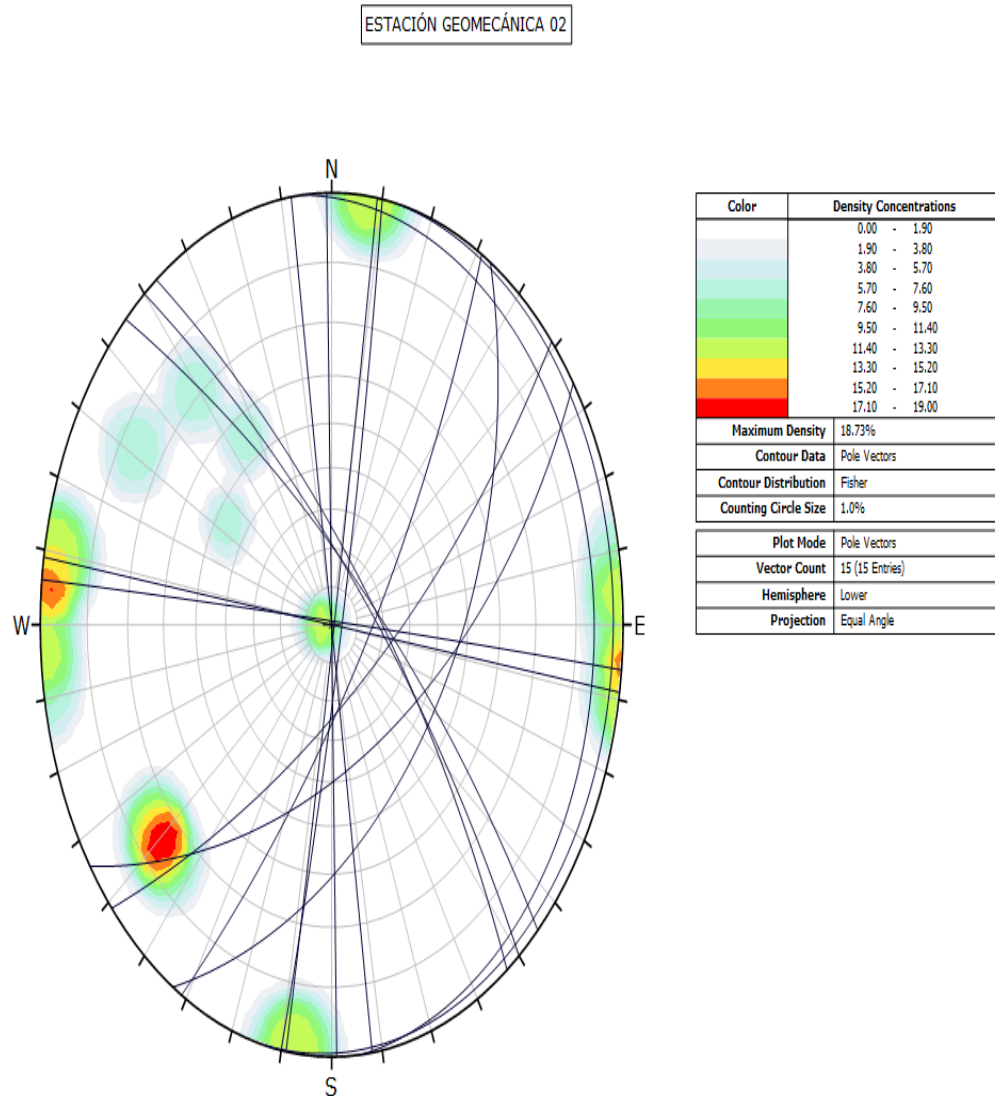
Coordenadas		
Este	Norte	Cota
740213	9204196	972



*Ilustración 17- Estación Geomecánica 02.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 17, Estación Geomecánica 02, se puede observar 4 familias de diaclasas en las rocas del volcánico Chilete, la longitud o persistencia de las fracturas varían de 0.1 a 2.5 m, con espaciamientos entre 0.1 a 0.6 m, aperturas < 0.07 , sin relleno y sin presencia de agua en todos los casos.

A continuación, se realiza el análisis de la estación con el software Dips:



*Ilustración 18- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 02.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 18, Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 02, se puede observar una mayor concentración de polos en la dirección S40°W.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 02

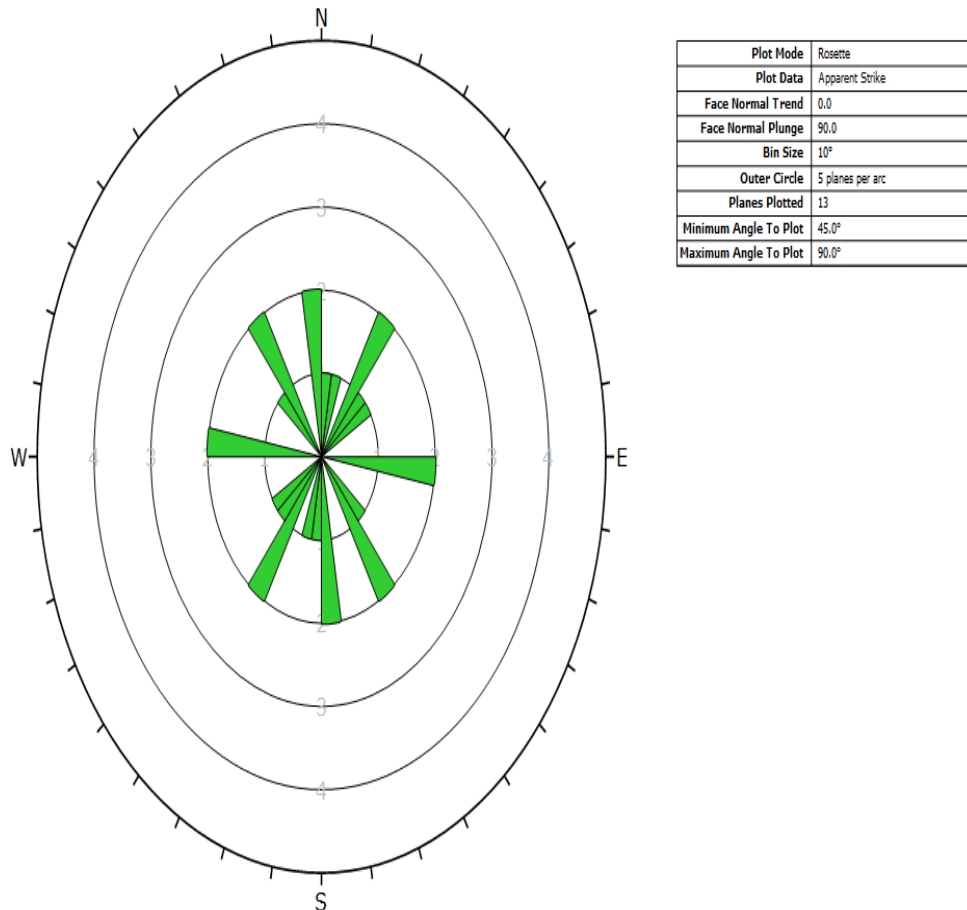


Ilustración 19- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01.

Fuente: Elaboración propia

De la ilustración 19, Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 01, se observan cuatro familias de fracturas, dos de importancia menor.

c) Estación Geomecánica 03 (EG-03):

Coordenadas		
Este	Norte	Cota
740144	9204103	952



*Ilustración 20- Estación Geomecánica 03.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 20, Estación Geomecánica 03, se puede observar 3 familias de diaclasas en las rocas del volcánico Chilete, la longitud o persistencia de las fracturas varían de 0.4 a 0.9 m, con espaciamientos entre 0.10 a 1.1 m, aperturas < 0.02 , sin relleno y sin presencia de agua en todos los casos.

A continuación, se realiza el análisis de la estación con el software Dips:

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 03

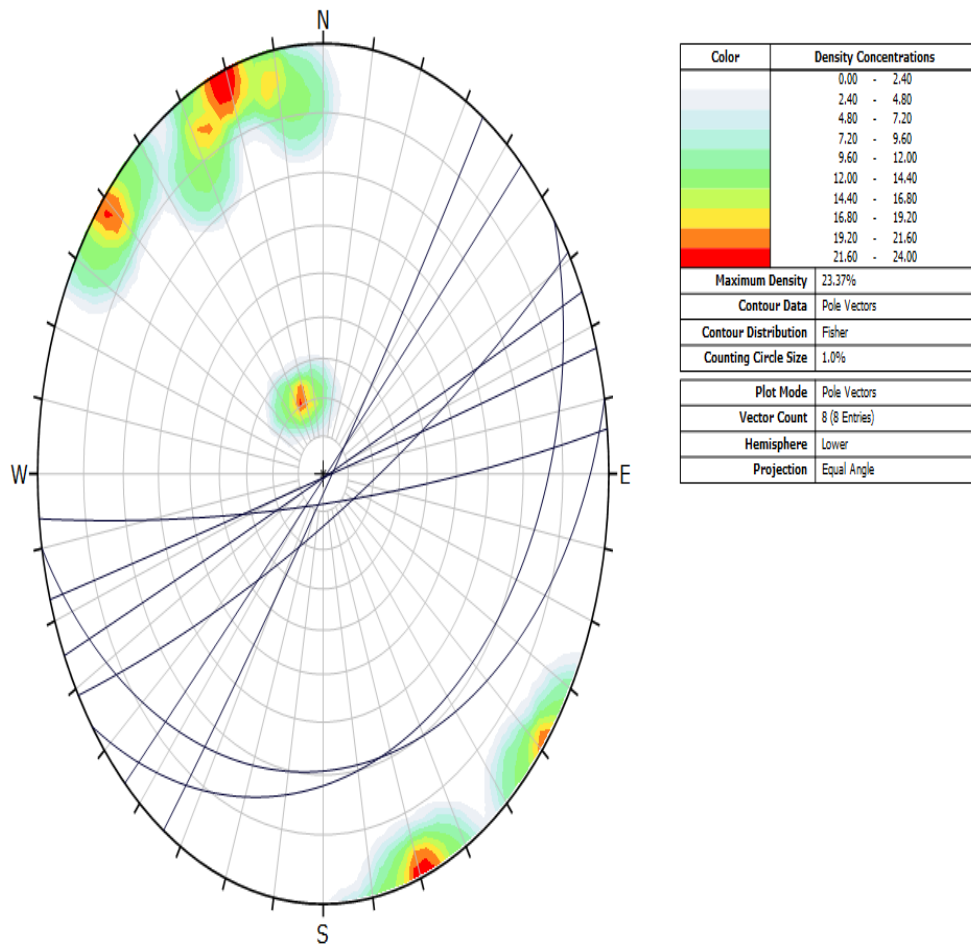


Ilustración 21- Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 03.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Diagrama de polos de la Estación Geomecánica 03, se puede observar una mayor concentración de polos en la dirección S25°W.

ESTACIÓN GEOMECÁNICA 03

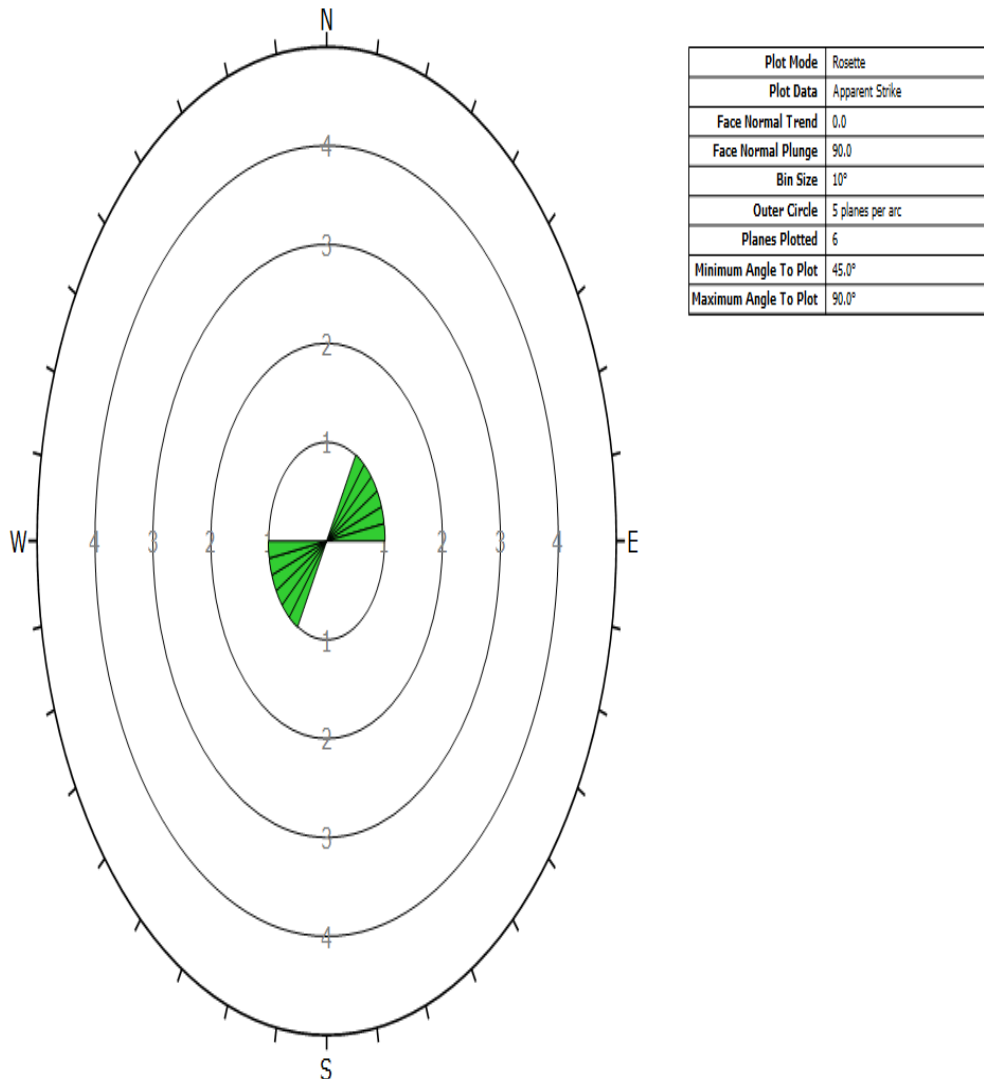


Ilustración 22- Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 03.

Fuente: Elaboración propia.

De la ilustración 22, Diagrama de rosas de la Estación Geomecánica 03, se observan tres familias de fracturas de importancia menor.

d) Talud de la zona de relaves

De acuerdo a la topografía de la zona de investigación, se pudo determinar que el talud del relave minero Paredones tiene una longitud de 180 metros, con un ancho en la base de 84.0m y en la corona 130 metros; una altura de 62 metros, el área del talud es de 1.4 ha, el cual se encuentra al costado del río San Pablo, por lo que es de vital importancia la estabilidad física y el control de las aguas que escurren hacia los cauces del río, las que actualmente se encuentran en peligro de contaminación por la presencia de este pasivo ambiental relave minero.



*Ilustración 23- Talud del relave minero Paredones, el cual se encuentra prácticamente a orillas del río San Pablo.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 23, Talud del relave minero Paredones, el cual se encuentra prácticamente a orillas del río San Pablo.

De acuerdo a la Topografía y al análisis de suelos a continuación realizamos el análisis de estabilidad con el software Slide para poder determinar el factor de seguridad de este talud:

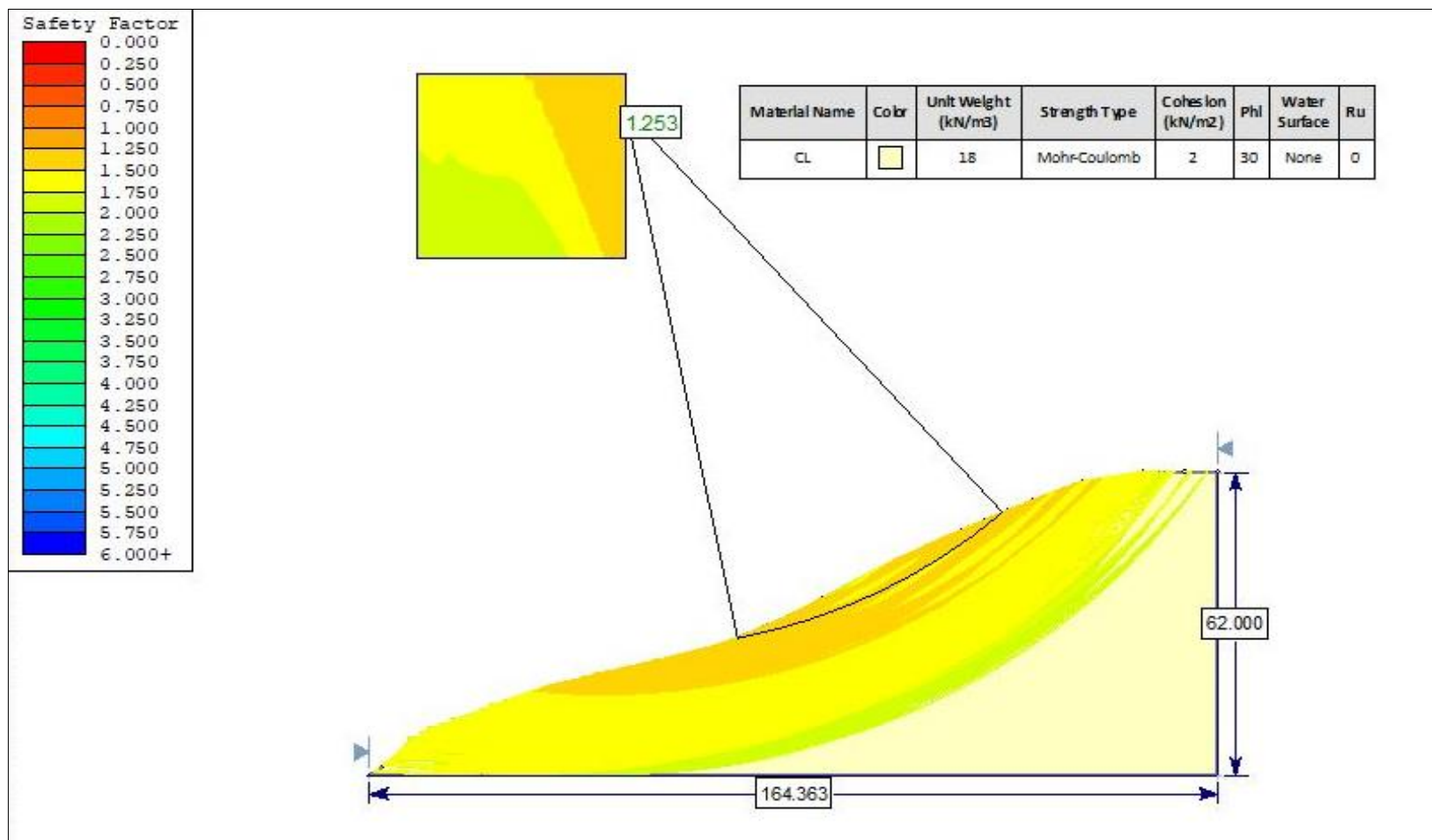


Ilustración 24- Factor de Seguridad actual del Talud de la relavera Paredones: 1.25 (antes de la evaluación de la estabilidad física).
 Fuente: Elaboración propia.

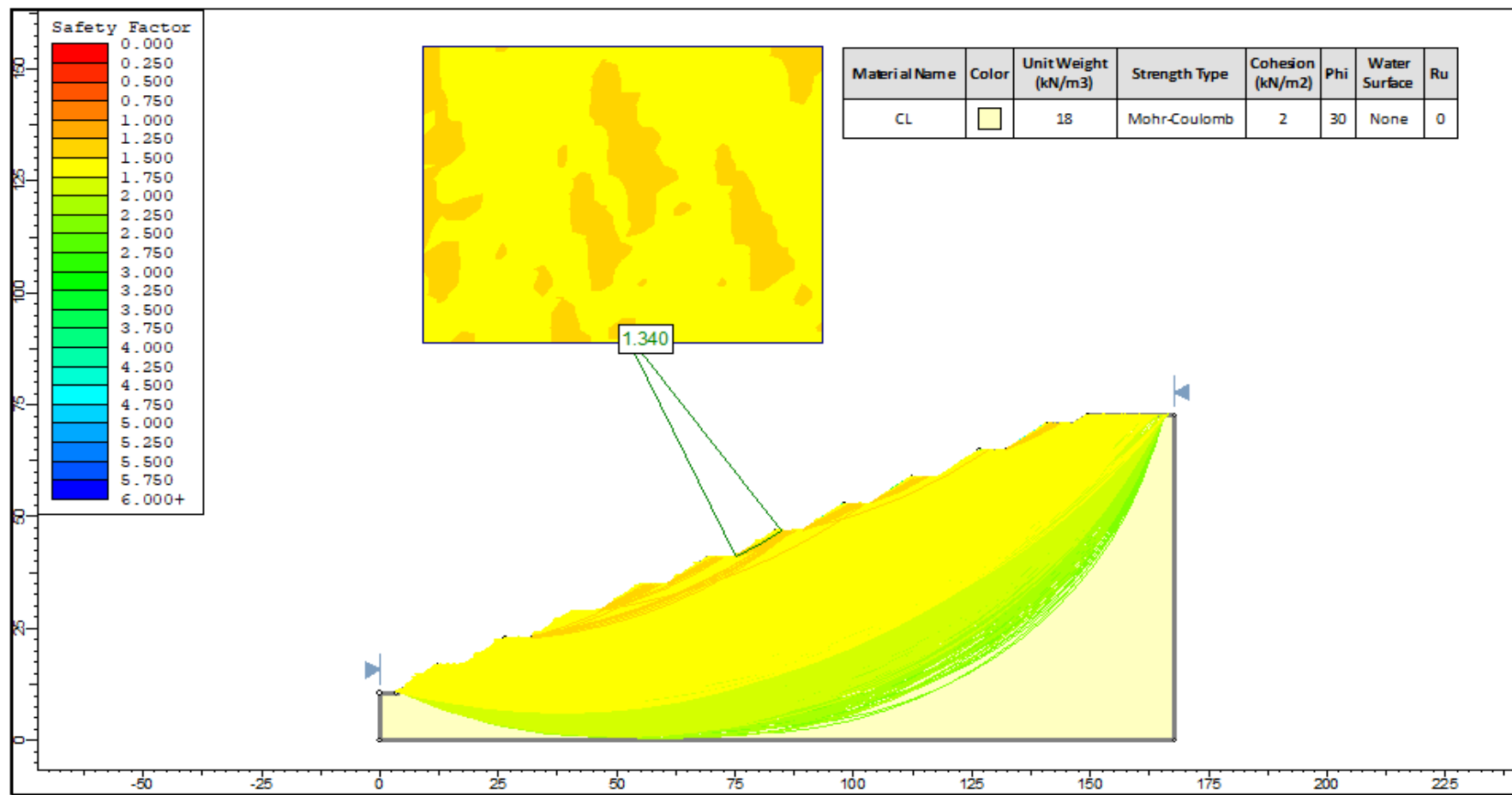


Ilustración 25- Análisis de estabilidad del talud Relave Paredones, con la construcción de bancos, Factor de Seguridad: 1.34. (después de la propuesta de estabilidad)
 Fuente: Elaboración propia.

3.4. Análisis de Suelos

Para poder determinar el tipo de suelos que se encuentran en la zona de relave Paredones se realizaron 3 calicatas, cuyos análisis de laboratorio se presentan a continuación:

3.4.1. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio que se efectuaron a las muestras obtenidas durante la ejecución de calicatas y los ensayos consisten en la determinación de granulometría, límites de consistencia (Líquido, plástico e índice de plasticidad), humedad natural.

Para la ejecución de los ensayos antes señalados se aplicaron los siguientes procedimientos normalizados por la American Standard of Testing Materials (ASTM), no se encontró nivel freático en ninguna de las excavaciones, dentro de los trabajos de campo.

En la tabla N°01 se muestra los procedimientos normalizados ASTM.

Tabla 1- Ensayos Estándar

Análisis granulométrico	: Norma ASTM - D422
Límite Líquido	: Norma ASTM - D423
Límite Plástico	: Norma ASTM - D424
Humedad Natural	: Norma ASTM - D2216
Clasificación de suelos	: Norma ASTM - D2487

Fuente: Elaboración propia.



*Ilustración 26- Equipos usados para los ensayos de mecánica de suelos.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.2. Clasificación de Suelos

Las muestras ensayadas en laboratorio se han clasificado de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS y AASTHO.

Las tabla 2, muestra las características de las calicatas, observándose que se trata de Arcilla Inorgánica Medianamente Plástica, con un índice de plasticidad (IP) que varía entre 20.0% y 21.0%, un contenido de humedad (W%) que varía entre 20.0% y 21.0%, un contenido de humedad (W%) que varía entre 23,8 % hasta 26.2%, límite líquido (LL) que va desde 46,6% hasta 46,8% y con límite plástico (LP) que varía entre 26,3% hasta 26.6%

Tabla 2- Contenido de humedad y límite de consistencia de calicatas.

Calicata	Profundidad (m.)	W (%)	Límites de Consistencia		
			LL (%)	LP (%)	IP (%)
Calicata 01	1.70	23.8	46.8	26.6	20.00
Calicata 02	1.80	24.4	46.6	26.3	20.0
Calicata 03	1.80	26.2	46.7	25.5	21

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 27- Contenido de Humedad en porcentaje versus, número de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 01.
Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la Ilustración 27, representa el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada, se evidencia que el límite líquido para la Calicata 01 es de 46,8%.

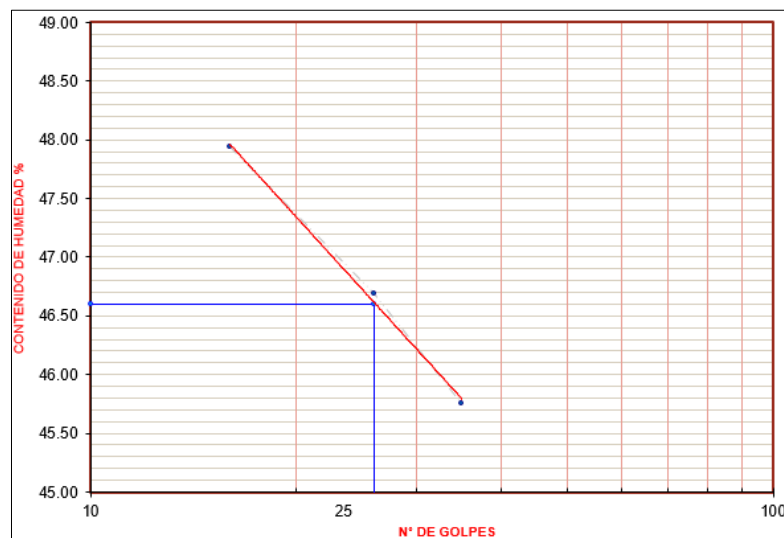


Ilustración 28- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 02.
Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la ilustración 28, representa el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada, se evidencia que el límite líquido para la Calicata 02 es de 46,6%.

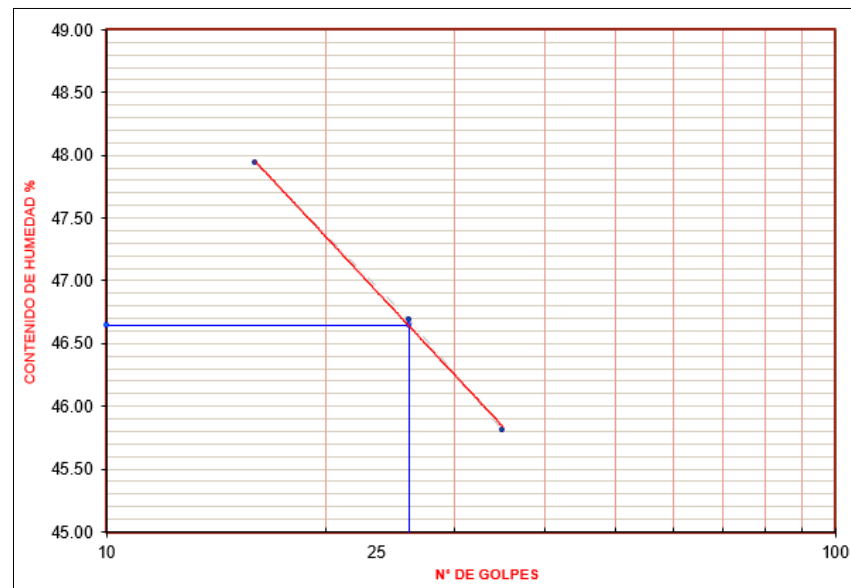


Ilustración 29- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 03.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la figura 29 representa el contenido de humedad versus el número de golpes para poder determinar el límite líquido de la muestra analizada, se evidencia que el límite líquido para la Calicata 03 es de 46,7%.

En la tabla 3, se presenta el porcentaje de grava, arena y finos, podemos observar que se trata de mayor contenido de materiales finos que varía desde 84.4% hasta 92.4% de finos, en el contenido de arenas tenemos que varía de 7.6% hasta 15.6%.

Tabla 3- Contenido de Humedad en porcentaje versus, numero de golpes en copa de Casa Grande, Calicata 03.

Granulometría			
CALICATA	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
Calicata 01	0	7.6	92.4
Calicata 02	0	9.4	90.6
Calicata 03	0	15.6	84.4

Fuente: Elaboración propia.

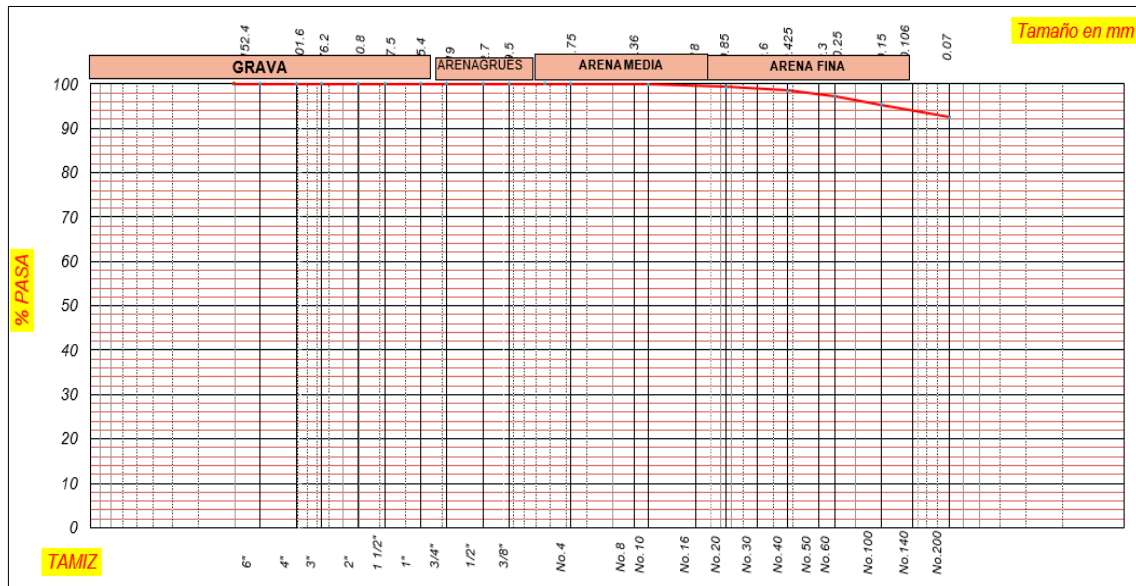


Ilustración 30- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 01.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la figura 30 representa el análisis granulométrico de la Calicata 01, donde el contenido de arena es de 7.6% y el de finos 92,4%.

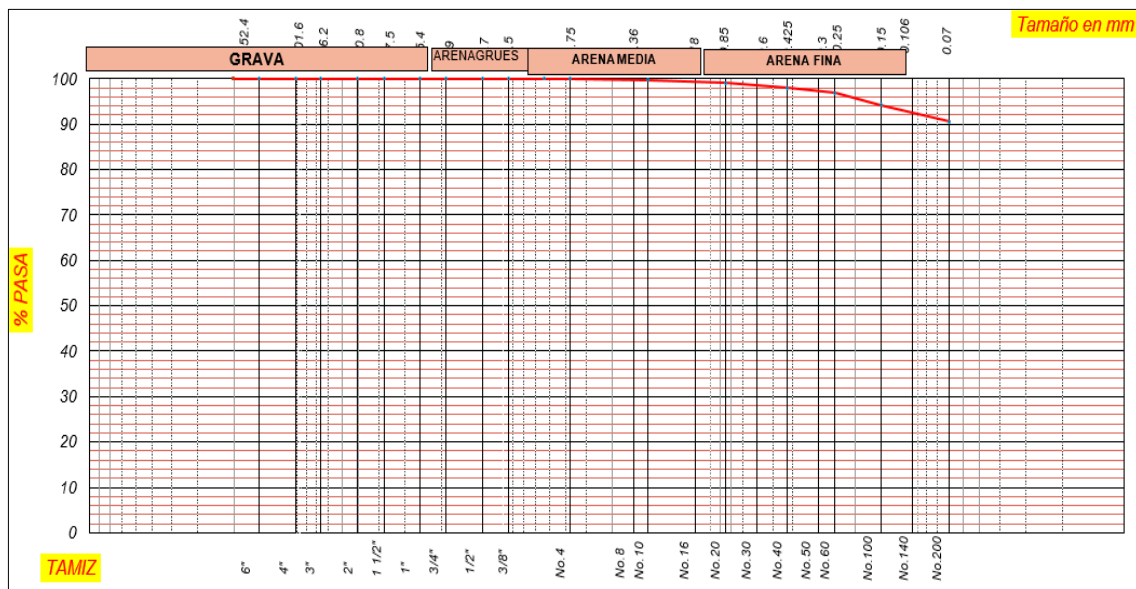


Ilustración 31- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 02.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la figura 31 representa el análisis granulométrico de la Calicata 02, donde el contenido de arena es de 9.4% y el de finos 90,6%.

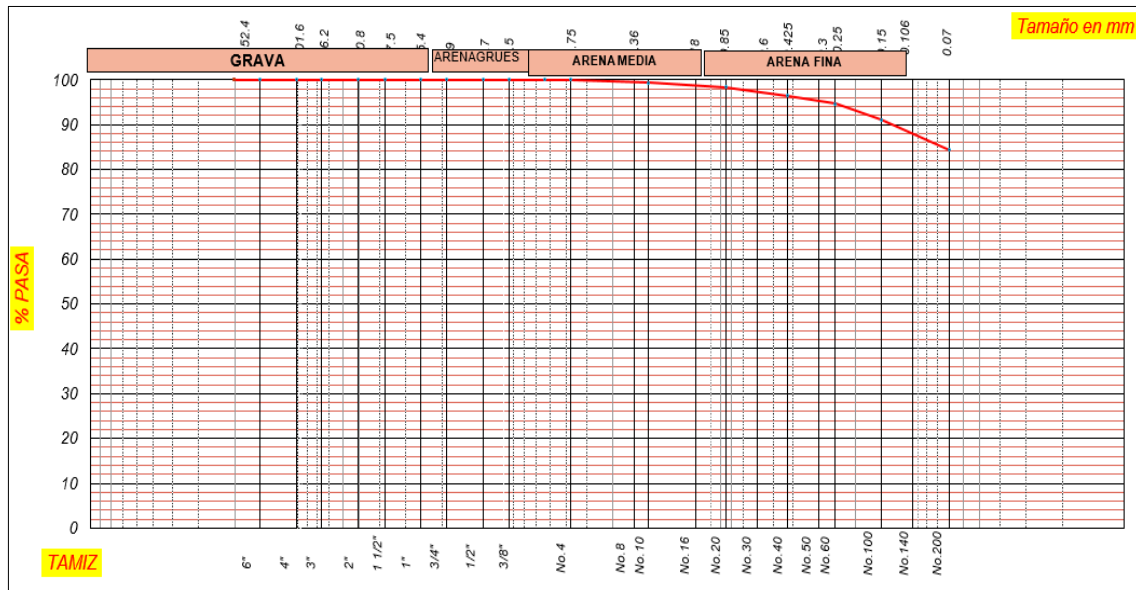


Ilustración 32- Curva de análisis granulométrico, porcentaje que pasa versus abertura de tamiz, Calicata 03.
Fuente: Elaboración propia.

Nota: En la figura 32 representa el análisis granulométrico de la Calicata 03, donde el contenido de arena es de 15.6% y el de finos 84.4%.

De acuerdo a la tabla 4, Límites de consistencia y granulometría se ha clasificado como arcilla inorgánica medianamente plástica con arena (CL), según SUCS y AASTHO.

Tabla 4- Clasificación de suelos según Sistema de Clasificación de Suelos.

CALICATA	SUCS	Características
CALICATA 01	CL	Arcilla inorgánica medianamente plástica con arena (CL).
CALICATA 02	CL	Arcilla inorgánica medianamente plástica con arena (CL).
CALICATA 03	CL	Arcilla inorgánica medianamente plástica con arena (CL).

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Condiciones actuales de la zona

3.5.1. Ambiente físico

Los componentes físicos observables en el área de estudio son el suelo, clima, aire, agua y ambientes bióticos.

- **Suelo**

El estudio se realizó en función a dos tipos de materiales, orgánico que podemos encontrar en la parte superior de la presa de relaves con una capa aproximada de 0.8m – 1.20m, este material es producto de un proceso erosivo de las laderas y el arrastre de material de la quebrada California, donde se encuentra depositado sobre el material de relave.



*Ilustración 33- Material orgánico depositado sobre el material de relave.
Fuente: Elaboración propia.*

De la ilustración 33, Material orgánico depositado sobre el material de relave. El segundo material lo podemos encontrar desde la corona hasta el pie del talud que da hasta el río San Pablo, un material de color amarillo que se evidencia desértico producto de la contaminación con materiales de relave.



Ilustración 34- Material expuesto desértico, se evidencia desde la corona hasta el pie de talud.

Fuente: Elaboración propia.

- **Agua**

La visita para observar los componentes presentes en el lugar de investigación fue en el mes de julio, donde es la temporada más seca, por lo que se evidencio capas de minerales sulfatados, materiales detríticos y en la parte baja encontramos grietas de desecación, esto nos da a entender que hay temporadas donde este lugar sufre inundación.



Ilustración 35- Mineral color blanco producto de la evaporación de aguas depositadas en el lugar.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Ambientes bióticos

En la tabla 5, se presenta un listado de plantas presentes en el lugar de investigación, como: Molle, Hualtaco, Palo Santo, Espino, Cactus.

Tabla 5- Especies vegetales presentes en la zona de estudio.

DIVISION	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	HABITAT	CONDICION
Magnoliophyta	Anacardiaceae	Schinus Molle	Molle	Clima tropical y templado, suelos rocosos.	Árbol
		Loxopterigium huasango	Hualtaco	Clima tropical y templado, suelos secos.	Arbusto
	Burseraceae	Bursera Graveolens	Palo Santo	Clima tropical y templado, suelos secos.	Arbusto
	Fabaceae	Acadia caven	Espino	Capaz de soportar periodos prolongados de sequia y bajo condiciones climáticas tropicales y templadas	Arbusto
	Cactaceae	Cactus	Cactus	Clima tropical y templado, suelos secos.	Planta suculenta o crasa

Fuente: Elaboración propia.



*Ilustración 36- Especies vegetales (Arbustos) presentes en la zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia.*

En la tabla 6, se presenta un listado de animales que se puede encontrar en el lugar de investigación, como: Arrocero, Perdiz, Chiscos, Tordo, Cuervo, Lagartija, Serpiente, Cabritos.

Tabla 6- Especies animales presentes en la zona de estudio.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	ESPECIE	NOMBRE COMUN
	Passeriformes	Cardinalidae	Spiza Americana	Arrocero
	Galliformes	Phasianidae odontophoridae	Perdix	Perdiz
	Passeriformes	Mimidae	Mimus Longicaudatus	Chiscos
AVES	Passeriformes	Icteridae	Molothrus Bonariensis	Tordo
	Passeriformes	Carvidae	Corvus Corax	Cuervo
	Squamata	Gekkenidae	Ilgodactylus Luteopicturatus	Lagartija
	Squamata	Colúbridos	Serpentes	Serpiente
	Artiodactyla	Bovidae	Capra aegagrus	Cabritos

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Análisis de Laboratorio

El análisis geológico geotécnico de este depósito de relaves de la mina Paredones muestra que el depósito está compuesto por: 89.13 % promedio de finos, 10.87 % promedio de arenas y 0.00 % de gravas, siendo de composición muy heterogénea, conformando la curva granulométrica que solo abarca la sección de arenas o materiales arenosos por su composición que lo clasifica como CL (arcilla de medianamente plástica con arena).

El contenido de humedad de 24.80 % y límite líquido obtenido de laboratorio no supera el requerido de 50, por lo tanto, certifica que son valores apropiados, definiendo por lo tanto la litología del depósito.

3.7. Diseño del Talud

El diseño del talud de relaves, está definido por la información anteriormente descrita la cual siguiendo los parámetros geomecánicos están acorde con el diseño de estabilización en función de su ángulo inicial, ángulo final, ancho de rampa, altura de talud y quebradura, generando un diseño apropiado para minimizar la erosión superficial (en muchos de los casos estructuras profundas en forma de V) y superficies de falla que pueden ocurrir en el talud cuando se sature el depósito de relaves.

Aplicando el software Slide se da la validez o definición si el diseño que es óptimo, en este caso reportando el software que el diseño está bien planteado superando el factor de seguridad requerido de 1.10 para una mejor interpretación numérica geotécnica obteniendo valores superiores a 1.34 (Estable).

3.8. Diseño de Gaviones

De acuerdo con los resultados también se propone la colocación de gaviones en toda la parte ribereña del río para mejores minimizaciones de costo y presupuesto, planteando una conformación solo de tres gaviones transversalmente en el diseño de estabilización en el pie del tajo, para sí evitar futuras afectaciones por encauzamiento

del río en épocas pluviales de mayor precipitación afectando la estabilización del diseño del talud del relave.

Los factores de seguridad que se han obtenido son superiores a los requerimientos geotécnicos de estabilización ya sea por volteo ($FS > 2.0$) o deslizamiento ($FS > 1.50$); siendo un diseño que generaría una confiabilidad para su futura remediación estabilizadora. Teniendo en que la parte de rocosa los conforma un 80% y espacios vacíos 20%.

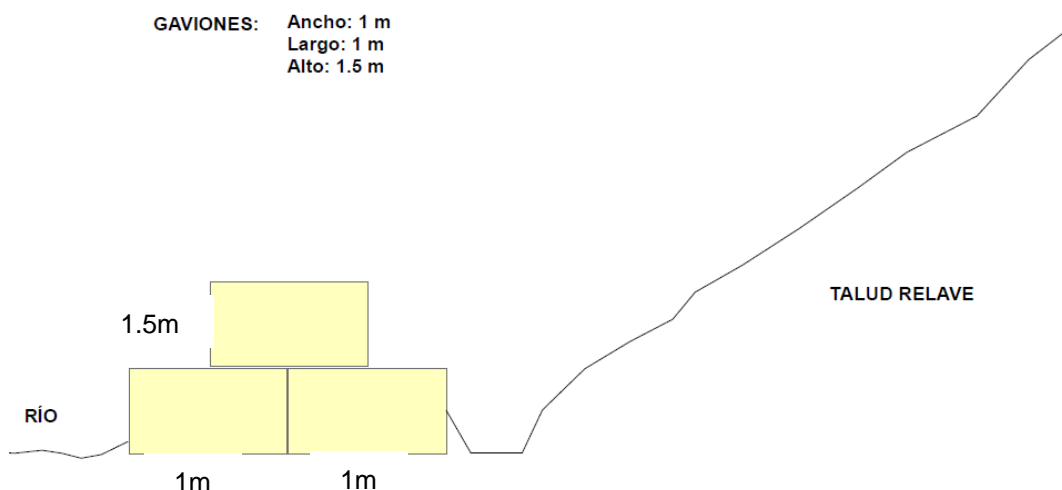


Ilustración 37- Grafico de Gaviones de estabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1. Calculo de Gaviones

Datos de relave:

$$c = 5$$

$$\phi = 30$$

$$\gamma = 1800 \text{ Kg/m}^3$$

Coeficiente activo:

$$K_a = 0.33$$

Calculo activo:

$$P_a = 1\ 118.0 \text{ Kg-T/m}$$

Momento de volcamiento:

$$M_{va} = 792.0 \text{ Kg-T/m}$$

Peso total de gavión:

$$W_t = 10.080 \text{ Kg}$$

- Momento Estabilizante:

$$M_{est} = 17055 \text{ Kg-T/m}$$

- Resistencia

$$\Sigma F = \text{Resistencia} = 12780 \text{ Kg}$$

- Calculo de cuña de suelo sobre cada bloque:

$$W_{s1} = 1.0 \times 0.5 \times 1 \times \gamma_{\text{suelo}}$$

$$W_{s1} = 1.0 \times 0.5 \times 1800 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_{s1} = 900 \text{ Kg}$$

- Por las dos cuñas:

$$W_{s2} = 0.5 (2)(1) (1800)$$

$$W_{s2} = 1800 \text{ Kg}$$

- Momento Estabilizante:

$$M_{est} = 17055 \text{ Kg-T/m}$$

- Factor de seguridad por volcamiento:

$$FS_{volc} = \frac{M_{est}}{M_{va}} = \frac{17055 \text{ Kg-T/m}}{792 \text{ Kg-T/m}}$$

$$FS_{volc} = 21.53 > 2$$

¡Cumple!

- Factor de seguridad por deslizamiento:

$$\Sigma F = \text{Resistencia} = 12780 \text{ Kg}$$

$$FS_{desl} = \frac{\tan(\phi)}{Pa} \Sigma F$$

$$FS_{desl} = \frac{\tan(30)(12780)}{1188}$$

$$FS_{desl} = 6.59 > 1.5$$

¡Cumple!

3.9. Control de aguas superficiales

Para el control de aguas superficiales es necesario hacer la captación de las aguas de las quebradas y cárcavas presentes en el área de estudio por lo que se plantea colocar canales en el perímetro de la zona donde está el relave.

Los parámetros para el diseño del canal perimetral son los siguientes:

Suelo : Suelo arcilloso con arena con poca vegetación.

Área de aferente : 1370774.908

Intensidad : 80mm/h

Coefficiente de escorrentía: 0.5 para una pendiente de canal menor al 1.0% y un tipo de suelo semi permeable.

Calculo de caudal de precipitaciones:

$$Qd = C * I * A$$

$$Qd = 0.5 * 80mm * 1370774.908m^2$$

Convertir la intensidad (I) a metros por segundo:

$$I = \frac{80mm}{1h} * \frac{1}{3600s} * \frac{1m}{1000mm}$$

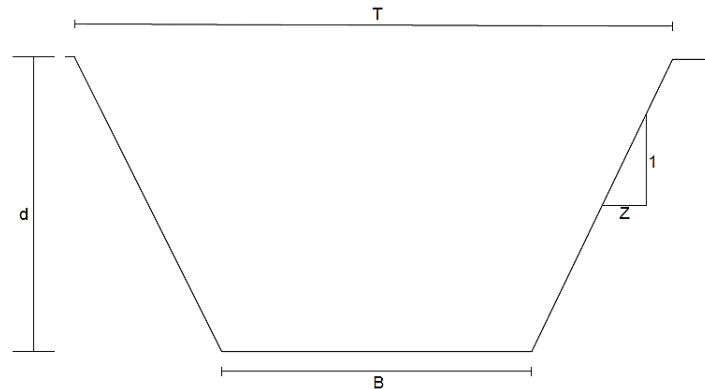
$$I = 0.00002222..$$

$$Qd = 0.5 * 0.00002222 ... * 1370774.908$$

$$Qd = 15.229m^3/s$$

$$Qd = 15229.09 l/s$$

Diseño de Canal:



A = Area de sección

P = Perimetro

T = Ancho superficial

R = Radio Hidraulico

$$A = B * d + Zd^2$$

$$P = B + 2d(Z^2 + 1)^{1/2}$$

$$T = B + 2d * Z$$

$$R = A/P$$

Para determinar el factor horizontal de talud (Z) hacemos uso de la siguiente tabla:

Tabla 7- Factor de talud Horizontal.

Material	1V: zH
Roca	1:>1/4
Arcilla Dura	1:(1/4 - 1)
Suelo Margoso	1:1/2
Tierra con revestimiento en roca	1:1
Arcilla firme	1:1.25
Arena	1:2
Limos o arcilla porosa	1:3

Fuente: Invias, 2009, Manual de drenaje para carreteras.

Considerando la zona de estudio encontramos arcillas según el estudio de mecánica de suelos, consideraremos Z (0.5).

Procedemos a realizar el cálculo considerando:

$$B = 0.5 \text{ m}$$

$$d = 1.0 \text{ m}$$

$$Z = 0.5 \text{ m}$$

$$A = 0.5 * 1.0 + 0.5 * (1)^2$$

$$A = 1.0$$

$$P = 0.5 + 2 * 1 * (0.5^2 + 1)^{1/2}$$

$$P = 2.74$$

$$T = 0.5 + 2 * 1.0 * 0.5$$

$$T = 1.5$$

$$R = 0.375/0.866$$

$$R = 0.365$$

Calculo de la capacidad del canal:

$$Q = \frac{1}{n} (A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}) \dots \dots \dots \text{Ecuación de Manning.}$$

n: 0.014

S: 0.5%

Q: Caudal máximo sección.

n: Coeficiente de rugosidad Manning concreto sin pulir.

S: Pendiente.

$$Q = \frac{1}{0.014} (1.0 * 0.3650^{\frac{2}{3}} * 0.5^{\frac{1}{2}})$$
$$Q = 25.796 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$Q = 25795.990 \text{ L/s}$$

Como la capacidad del canal es mayor al caudal de las precipitaciones decimos que el canal cumple las condiciones.

Se debe considerar para la captación de las aguas, sedimentadores con el fin de que los materiales arrastrados por el agua no sedimenten en el canal y crezca vegetación, ya que esto puede causar inundaciones, generando aguas acidas, la ubicación de estos sedimentadores se puede observar en el Plano General de Remediación Física.

3.10. Cobertura

Para el diseño de cobertura se tomó en cuenta las condiciones actuales de la zona de estudio, donde se evidencia zonas muy erosionadas, tal es el caso de la cara del talud, que presenta un color amarillento y socavamientos en los suelos, otro factor importante es la pendiente entre 35 y 50 grados y el problema principal es que hay contacto entre aguas superficiales y material inadecuado con presencia de sulfuros generando aguas acidas.

Se ha identificado tres zonas donde necesita un proceso de mejora con vegetación y mejora del suelo, como zona 01 se considera el talud que se encuentra expuesto y que en tiempo de lluvias es erosionado y los materiales son arrastrados hacia el río San Pablo, como zona 02 es la cabecera del depósito de relaves que cuenta con una capa de aproximado un metro de material orgánico depositado proveniente de la erosión de las ladera donde se encuentra depositado el relave y como zona 03 se tiene a las ladera que están alrededor del depósito de relave.

a) Zona 01: Talud del depósito de relave

Para esta zona se plantea impermeabilizar con una capa de arcilla de 0.3m, para evitar el contacto de las aguas superficiales con los materiales de relave y evitar el drenaje ácido; sobre la arcilla irá el suelo orgánico de 0.30 m de espesor donde se revegetara con plantas herbáceas.



*Ilustración 38- Grafico de cobertura para la zona 01.
Fuente: Elaboración propia.*

b) Zona 02: Cabecera del depósito de relave

Para el proceso de cobertura y vegetación a usar en la cabecera del depósito de relave se plantea una conformación del terreno con el fin de no sobresaturar la zona, ya que se puede evidenciar que el problema principal de esta zona es que no se tiene un control de aguas superficiales y la escasa vegetación en su superficie. Para el control de aguas superficiales y erosivos se plantea canales perimetrales, además se recomienda que el perfilado del terreno tenga pendiente no mayor ni menor de 0.5 % con el fin de drenar las aguas al canal perimetral derecho; para evitar la erosión del suelo se plantea revegetar con Grass. Se debe considera colocar una capa de tierra de cultivo de 0.30m sobre la capa de depósito granular producto de la erosión que tiene una potencia de 0.8m a 1.20m, se recomienda solo revegetar el lugar haciendo uso de gras y plantas originarias del lugar.



*Ilustración 39- Grafico de cobertura para la zona 02.
Fuente: Elaboración propia.*

c) Zona 03: Laderas alrededor del depósito de relave

Lo que se evidencia en esta zona son pendiente fuerte, mayores a los 45 grados, como no se evidencia contaminación por contacto con materiales de relave solo se plantea revegetar el lugar, dejando a evaluar si es necesario el perfilado de estos taludes.



*Ilustración 40- Grafico de cobertura para la zona 03.
Fuente: Elaboración propia.*

3.11. Costos de estabilidad física

Para poder realizar el cálculo del costo total del Proyecto se ha tenido en cuenta dividirlo en cinco partes (Deposito de Relaves, Talud de relavera, Gaviones, Canales de Drenaje y Costo de Personal profesional y obrero), como se detalla a continuación:

Tabla 8- Calculo de costos de Cobertura del depósito de relaves.

COBERTURA DEPOSITO DE RELAVERA			
MATERIAL	COSTO EN SOLES	ÁREA DE TALUD	5.42 Ha
SEMILLA GRASS	99.00 Soles/Kg		
TIERRA DE CULTIVO	100.00 Soles/m3	DENSIDAD DE SIEMBRA	400 Kg/Ha
COSTO GRASS			
ÁREA	DENSIDAD	COSTO Kg	
5.42 Ha	400 Kg/Ha	99.00 Soles/Kg	
TOTAL SEMILLA	2168.6 Kg		
TOTAL GRASS	214632.00 Soles		
TIERRA DE CULTIVO			
AREA m2	ESPESOR m	COSTO m3	
54294.717 m2	0.3 m	100 Soles/m3	
TOTAL m3	16288.251		
TOTAL TIERRA DE CULTIVO	1628825.10 Soles		
COSTO TOTAL			
TOTAL GRASS		214632.00	
TOTAL TIERRA DE CULTIVO		1628825.10	
TOTAL COBERTURA DEPOSITO SOLES		1843457.10	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9- Calculo de costos de Cobertura de Talud.

COSTO COBERTURA TALUD DE RELAVERA			
MATERIAL	COSTO EN SOLES	ÁREA DE TALUD	1.44 Ha
ARCILLA	25 Soles/m ³		
TIERRA DE CULTIVO	100.00 Soles/m ³	DENSIDAD DE SIEMBRA	400 Kg/Ha
GEOMEMBRANA	6.00 Soles/m ³		
COSTO GRASS			
ÁREA	DENSIDAD	COSTO Kg	
1.44 Ha	400 Kg/Ha	99.00 Soles/Kg	
TOTAL SEMILLA	576 Kg		
TOTAL GRASS	57024.00 Soles		
TIERRA DE CULTIVO			
AREA m ²	ESPESOR m	COSTO m ³	
14462.228 m ²	0.3 m	100 Soles/m ³	
TOTAL m ³	4338.668 m ³		
TOTAL TIERRA DE CULTIVO	433 866.8 Soles		
ARCILLA IMPERMEABILIZANTE			
AREA m ² X ESPESOR	COSTO m ²		
(14462.228 m ²)(0.3 m)	25 Soles/m ³		
TOTAL	108466.70 Soles		
COSTO TOTAL			
TOTAL GRASS		57024.00	
TOTAL TIERRA DE CULTIVO		433 866.8	
ARCILLA IMPERMEABILIZANTE		108466.7	
TOTAL COBERTURA TALUD SOLES		599 357.5	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10- Calculo de costos de Gaviones y Canales Perimetrales.

GAVIONES			
MATERIAL	DIMENSION	COSTO POR GAVION	120 Soles
GAVIONES	1x1x1.5 m		
LONGITUD DE RELAVE	84 m	N° DE GAVIONES	252
COSTO GAVIONES			
N° DE GAVIONES	COSTO		
252	120		
TOTAL	30240.00 Soles		
CANALES PERIMETRALES			
MATERIAL	DIMENSION	COSTO m3	380 Soles
CANALES	1630 m		
SECCION	1.618 m	CANAL m3	527.468
COSTO DE CANAL PERIMETRAL			
COSTO GAVIONES			
CANAL m3	COSTO		
527.468 m3	380		
TOTAL	200437.84 Soles		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 11- Calculo de costos de Personal y Costos Totales del proyecto.

PERSONAL Y MANO DE OBRA			
PERSONAL	REMUNERACIÓN	TIEMPO	6 Meses
RESIDENTE	3500 Soles		
SUPERVISOR	2500 Soles		
OBREROS	1200 Soles		
COSTO DE PERSONAL			
PERSONAL	CANTIDAD	REMUNERACIÓN	SUBTOTAL
RESIDENTE	1	3500 Soles	3500
SUPERVISOR	1	2500 Soles	2500
OBREROS	12	1200 Soles	14400
TOTAL X 6 MESES		122400.00 Soles	

COSTO TOTAL DE ESTABILIDAD FÍSICA	
COSTO COBERTURA TALUD DE RELAVERA	599 357.5
COBERTURA DEPOSITO DE RELAVERA	1843457.10
GAVIONES	30240.00
CANALES PERIMETRALES	200437.84
PERSONAL Y MANO DE OBRA	122400.00
COSTO TOTAL SOLES	2 795 892.44

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El costo total del Proyecto asciende a 2'795 892.44 Soles

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación, son producto de la aplicación de análisis geomecánica, geotécnico y condiciones ambientales del lugar, obteniéndose que la roca que alberga el relave es estable, y el material de relave se clasifica como una arcilla medianamente plástica con arena; de las condiciones ambientales se logró evidencia que hay presencia escorrentía de aguas superficiales que deben ser captadas y controladas para que el material de la relavera no se vuelva inestable.

Por lo anterior, se acepta la hipótesis planteada: Mediante el diseño y la construcción de canales de drenaje, perfilado de taludes y el establecimiento de cobertura de terrenos aledaños en el cierre de mina, se garantizará la estabilidad física, e hidrológica en la zona del relave de la mina de Paredones. Con la finalidad de otorgar una condición ambiental y social segura en el área de influencia de esta unidad minera.

Por otro lado se evidenció lo que un pasivo ambiental puede generar en un lugar si no ha sido remediado, es mas en la región Cajamarca existe más de mil zonas considerados pasivos ambientales mineros, que a pesar de que han pasado décadas no hay responsable; es por eso que coincidimos con Grufides, que nos dice: "Muchas de las actividades extractivas que buscan instalarse en zonas de pasivos ambientales, tienen problemas para su desarrollo debido a que en la memoria colectiva de la población están presentes las innumerables zonas contaminadas y la

duda de que, luego que las actividades de extracción de minerales acaben, la historia de contaminación se repita como pasó en décadas pasadas” .

Los datos presentados en la investigación son acordes a las características actuales del lugar, pero no se ha considerado calidad de aire y calidad de agua, pero si se ha considerado aislar las aguas de escorrentía natural es por eso que se propone la construcción de canales perimetrales, por tanto coincidimos con lo que dice Corzo en el año 2015 que nos dice que “un pasivo ambiental al entrar en contacto con los recursos hídricos se liberan metales y metaloides (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, As), los cuales son transportados por el agua y llegan hasta el hombre a través de un proceso de bioacumulación en la cadena trófica”.

Con lo antes mencionado, podemos decir que una vez aplicado lo propuesto en la investigación, perfilado de talud, construcción de canales perimetrales y la revegetación, se logrará una estabilidad física en el pasivo ambiental relavera de la Mina Paredones.

Por último, se recomienda que para estudios posteriores se haga un estudio de calidad de aire y aguas, para verificar si las condiciones ambientales en el lugar de investigación son estables o es posible dar otra solución.

4.2 Conclusiones

- Se determina la propuesta de estabilidad física de la zona de relave Paredones de acuerdo a las condiciones actuales, ejecutar la cobertura vegetal tanto en el talud del relave, así como en la parte superior del mismo, con un sistema de Gaviones en la parte inferior del talud en el límite con el río San Pablo.
- Según el análisis geomecánico que se realizó en la zona, se pudo determinar que los principales esfuerzos se encuentran en dirección SW, con varias intersecciones entre las fracturas existentes en el macizo rocoso, el cual es estable de acuerdo al factor de seguridad (1.34) obtenido con los softwares Dips y Slide.
- Las condiciones actuales del terreno del relave minero presentan suelos erosionados, por la falta de un control adecuado en la cobertura y el drenaje de aguas durante los meses de mayor precipitación, la vegetación es escasa en el área sin embargo aún existen algunas especies que crecen sobre lo que es el relave.
- Se realizó un diseño de canales perimetrales de acuerdo al nivel máximo de precipitaciones (caudal máximo de 15 229. 309 L/s), con tal de evitar la escorrentía y posterior contaminación del río San Pablo.
- Se determinó de acuerdo a las condiciones físicas del área de estudio, las cuales fueron divididas en tres partes: la zona del relave, talud de relave y control de aguas, un método de estabilidad mediante el uso de arcilla que cumplirá la función de impermeabilizar, con cobertura vegetal en forma de bancos en la zona del talud teniendo en cuenta el factor de seguridad hallado con el software ingresando los datos de la topografía y el tipo de suelo, el cual nos dio estable para este caso, un sistema de Gaviones en la parte baja para evitar algún deslizamiento y/o crecida del río hacia lo que es el relave minero, de la misma manera se plantea una cobertura total con material orgánico en la parte superior del relave.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Dirección General de Minería. (2012). *Reglamento para el Cierre de Minas. Perú.*
- Gamboa. (2016). *Impacto de los Pasivos Ambientales Mineros en el Recurso Hídrico de La Microcuenca Quebrada Párac, Distrito de San Mateo de Huanchor, Lima. Perú.*
- Gobierno Regional de Cajamarca. Acondicionamiento Territorial. (2009). *Estudio de Geología. Cajamarca. Perú.*
- Grufides. (2012). *Pasivos Ambientales mineros en la Región Cajamarca. Perú.*
- Grufides. (2015). *Los Pasivos Ambientales Mineros: Diagnóstico y Propuestas. Perú.*
- Ministerio de energía y minas. (2014). *Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros. Perú.*
- Ministerio de energía y minas. (2015), *Remediación de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú.*
- Ministerio del Ambiente, (2012), *Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana, Lima, Perú.*
- Yurich. (2016). *Situación de los pasivos ambientales mineros en Chile, el caso de los depósitos de relaves. Chile.*
- Herrera, J. (2016). *Metodos de Minería a Cielo Abierto. España.*
- López Goicochea, J. (2013). *Tratamiento de Aguas Acidas Provenientes del Pad de Lixiviacion con NaOH - Almidon; en Cia Minera Siapan SAC, durante Cierre Ambiental. Distrito de LLapa, Cajamarca, Peru, 2011 - 2012. Cajamarca, Peru.*
- Ministerio de Energía y Minas, (2006), *Normativa Ambiental General, Lima, Perú.*

- Molocho Cubas, M., & Rodas Revilla, N. (2016). *Implementacion de un Plan de Cierre de Minas en la Concesion Minera no Metalica Calera Nena de la Empresa Representaciones Oro Blanco S.A.C, Bambamarca, Cajamarca, 2016.* Cajamarca, Peru.
- Montero Matos, J., Otaño Nogel, J., & Guerrero Almeida, D. (2015). *Procedimiento para el Cierre de Canteras de Materiales para la Construccion en Cuba.* Cuba.
- Rivera Tapia, F. (2012). *Analisis Ambiental de la Normativa Aplicada a los Planes de Cierre de Faenas Mineras en Chile.* Santiago , Chile.
- Soldi Soldi, C. (2011). *Plan de Cierre de Minas Proyecto Conga.* Cajamarca, Peru.
- Vargas, I. V. (2013). Minem. Obtenido de <http://www.ramosdavila.pe/media/Leer-documento-del-MINEM.pdf>
-

ANEXOS

ANEXO 01 – Estaciones geomecánica

ANEXO 02 – Análisis de contenido de Humedad, Límites de consistencia y granulometría - calicata 1.

ANEXO 03 – Análisis de contenido de humedad, límites de consistencia y granulometría - calicata 2.

ANEXO 04 – Análisis de contenido de humedad, límites de persistencia y granulometría - calicata 3.

ANEXO 05 – Plano de ubicación.

ANEXO 06 – Plano geológico.

ANEXO 07 – Plano de Ubicación de Calicatas.

ANEXO 08 – Plano general

ANEXO 09 – Perfil de talud.

ANEXO 10 – Perfil longitudinal del canal perimetral.

ANEXO 11 – Perfil transversal N°01.

ANEXO 12 – Perfil transversal N°02.

ANEXO 13 – Clasificación geomecánica RMR

ANEXO 14 – Instrumento de evaluación