



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**GEOLOGÍA Y METALURGIA**



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**

**TESIS**

**ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DEL  
DEPÓSITO DE DESMONTE N° 03 - COMPAÑÍA  
MINERA CHALHUANE S.A.C - U.E.A  
SANGRE DE TORO – AÑO 2021**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH.: DEL CASTILLO ESPINOZA JHOSEFF ANDREE**

**ASESOR:**

**DR. SOTELO MONTES JAVIER ENRRIQUE**

**HUARAZ – PERÚ**

**2023**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las nueve horas con cinco minutos de la mañana (09:05 a.m.) del día veintidos de Agosto del dos mil Veintitres (22/08/23), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 076-2023-FIMGM/D, de fecha 05 de Abril del 2023, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI, como Presidente; Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES, como Secretario y el Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"ANÁLISIS GEOTECNICO PARA LA ESTABILIDAD DEL DEPOSITO DE DESMONTE N°03-COMPAÑÍA MINERA CHALHUANE S.A.C – U.E.A SANGRE DE TORO – AÑO 2021"**, presentado por el **Bachiller JHOSEFF ANDREE DEL CASTILLO ESPINOZA,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 076-2023-FIMGM/D de fecha 05 de Abril del 2023. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISIETE (17). Aprobado con Distinción.** Siendo las diez horas y cinco minutos (10:05 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI  
Presidente

Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES  
Secretario

Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA  
Vocal

Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES  
Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18), APROBADO (14-16), DESAPROBADO (00-13).**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,  
GEOLOGIA Y METALURGIA**



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**


Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"ANALISIS GEOTECNICO PARA LA ESTABILIDAD DEL DEPOSITO DE DESMONTE N°03-COMPAÑIA MINERA CHALHUANE S.A.C - U.E.A SANGRE DE TORO - AÑO 2021"**, presentado por el Bachiller **JHOSEFF ANDREE DEL CASTILLO ESPINOZA**, y sustentada el día 22 de Agosto del 2023, por Resolución Decanatural N° 076-2023-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 22 de Agosto del 2023

  
-----  
**Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**  
Presidente

  
-----  
**Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES**  
Secretario

  
-----  
**Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
Vocal

  
-----  
**Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**  
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM  
**ANEXO 1**  
**INFORME DE SIMILITUD.**

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA LA ESTABILIDAD DEL DEPÓSITO DE DESMONTE N°  
03 - COMPAÑÍA MINERA CHALHUANE S.A.C - U.E.A SANGRE DE TORO – AÑO 2021

Presentado por: Del Castillo Espinoza Jhoseff Andree

con DNI N°: 71338798

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 18% de similitud.

**Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pregrado (Art. 11, inc. 1).**

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 09/01/2024



FIRMA

Apellidos y Nombres: Dr. Sotelo Montes Javier Enrique

DNI N°: 31601882

Se adjunta:

*1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud*

## DEDICATORIA

Dedicado a mi madre quien es fuente de esperanza, inspiración, fuerza moral y parte activa en todos los sentidos de mi vida, gracias por entender, comprender, pero sobre todo por su amor y enseñarme a nunca desmayar; dedicado a mis hermanos, familia en general por creer incondicionalmente en mí y por la motivación constante.

**Jhoseff Andree**

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité, llenarme de infinitas bendiciones y aprender de ésta gran y completa carrera como es Ingeniería de Minas.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibido por parte de mi familia y mis compañeros. A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, mi alma mater.

A todos ellos, muchas gracias.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo general el de realizar el análisis geotécnico para el diseño del depósito de desmonte N° 03 para la unidad minera sangre de toro de la empresa Chaluane S.A.C. Para ello se empleó el método científico en el tipo de aplicada, con un nivel descriptivo. La hipótesis general fue Si realizamos el análisis geotécnico entonces determinaremos la estabilidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chaluane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021. Los resultados más saltantes son: el depósito de desmonte estará sobre una superficie nivelada, contará con 05 (cinco) banquetas con un talud entre bancos de 2H: 1V (por cada 2 m en horizontal se subirá 1 m en vertical). El punto más alto de la superficie de fundación del depósito de desmonte se encuentra a una elevación de 1,585 msnm. Su capacidad es de 416 400,00 Toneladas métricas. El peso específico es de = 2,15 Ton/m<sup>3</sup> y su vida útil será de 10 años. La conclusión más resaltante fue de que la caracterización geotécnica del área para el depósito de desmonte han permitido proporcionar parámetros efectivos, como precipitación máxima para 24 horas 58.31 mm, caudal máximo de salida 3.49 m<sup>3</sup>/s, caudal de flujo hiperconcentrado 4.36 m<sup>3</sup>/densidad mínima seca (MDS) 2.15 gr/ cm<sup>3</sup> coeficiente de sismicidad Z 0.23g, parámetros de resistencia de materiales para desmonte peso específico ( $\gamma$ : 20kN/m<sup>3</sup>), cohesión ( $c'$ : 56.33kPa), ángulo de fricción interno ( $\phi'$ : 27.6o), material Aluvial peso específico ( $\gamma$ : 21kN/m<sup>3</sup>), ángulo de fricción interno ( $\phi'$ : 32o), y Roca peso específico ( $\gamma$ : 22 kN/m<sup>3</sup>) tipo de material de cimentación, y perfiles geotécnicos que han permitido realizar el análisis de estabilidad física y determinar la construcción del depósito de desmonte.

**Palabras claves:** Análisis geotécnico, estabilidad, depósito, desmonte, N° 03, compañía minera Chaluane S.A.C., U.E.A Sangre de Toro. año 2021.

## ABSTRACT

The present research brought the general objective of carrying out the geotechnical analysis for the design of waste deposit No. 03 for the Sangre de Toro mining unit of the company Chalhuane S.A.C. For this, the scientific method was used in the type of applied, with a descriptive level. The general hypothesis was: If we carry out the geotechnical analysis, then we will determine the stability of the waste rock deposit No. 03 - Compañía Minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro - year 2021. The most striking results are: the waste rock deposit will be on a level surface, it will have 05 (five) sidewalks with a slope between banks of 2H: 1V (for every 2 m horizontally, 1 m will rise vertically). The highest point of the foundation surface of the waste rock deposit is at an elevation of 1,585 msnm. Its capacity is 416,400.00 metric tons. The specific weight is = 2.15 Ton/m<sup>3</sup> and its useful life will be 10 years. The most outstanding conclusion was that the geotechnical characterization of the area for the waste rock deposit has allowed to provide effective parameters, such as maximum rainfall for 24 hours 58.31 mm, maximum outlet flow 3.49 m<sup>3</sup>/s, hyperconcentrated flow rate 4.36 m<sup>3</sup>/minimum density seca (MDS) 2.15 gr/ cm<sup>3</sup> seismicity coefficient Z 0.23g, material resistance parameters for clearing specific weight ( $\gamma$ : 20kN/m<sup>3</sup>), cohesion ( $c'$ : 56.33kPa), internal friction angle ( $\phi'$ : 27.6 o), Alluvial material specific weight ( $\gamma$ : 21kN/m<sup>3</sup>), internal friction angle ( $\phi'$ : 32o), and Rock specific weight ( $\gamma$ : 22 kN/m<sup>3</sup>), type of foundation material, and geotechnical profiles that have allowed carry out the physical stability analysis and determine the construction of the waste deposit.

**Keywords:** Geotechnical analysis, stability, deposit, clearing, No. 03, Chalhuane S.A.C. mining company, U.E.A Sangre de Toro. year 2021.



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	iv
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso .....	1
1.1.2. Geomorfología.....	2
1.2. Entorno Geológico.....	3
1.2.1. Geología regional.....	3
1.2.2. Geología local.....	10
1.2.3. Geología estructural.....	11
1.2.4. Geología económica .....	11
CAPITULO II.....	13
FUNDAMENTACIÓN .....	13
2.1. Marco Teórico .....	13
2.1. Antecedentes de la investigación.....	13
2.2. Definición de Términos .....	18
2.3. Fundamentación teórica.....	22
2.3.1. Botaderos de desmonte .....	22
2.3.2. Tipos de botaderos .....	22
2.3.3. Factores que afectan la estabilidad de un botadero .....	23
2.3.4. Valoración del riesgo.....	24
2.3.5. Factores considerados en el sistema .....	24
2.3.6. Control geotécnico de botaderos .....	24

2.3.7. Construcción de un botadero .....	27
2.3.8. Método de conformación de taludes.....	30
2.3.9. Estudios geotécnicos.....	30
2.3.10. Métodos probabilísticos.....	32
2.3.11. Método Montecarlo .....	35
2.3.12. Estabilidad de taludes .....	38
2.3.13. Factor de seguridad.....	41
2.3.14. Equilibrio Limite .....	43
2.3.15. Método Ordinario o de Fellenius .....	44
2.3.16. Método de Bishop.....	45
2.3.17. Método de Janbú.....	46
2.3.18. Método de Spencer .....	46
2.3.19. Método de Morgenstern y Price .....	47
2.3.20. Estabilidad del depósito de desmonte.....	48
2.3.21. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb.....	48
2.3.22. Metodología de evaluación de estabilidad de botadero.....	49
2.3.23. Estabilidad de una ladera, talud o deslizamiento.....	50
2.3.24. Probabilidad de falla.....	52
2.3.25. Calculo del volumen del depósito de desmonte .....	53
2.3.26. Slide .....	54
CAPITULO III .....	57
METODOLOGÍA.....	57
3.1. El Problema .....	57
3.1.1. Descripción de la Realidad .....	57
3.1.2. Identificación y Selección del Problema .....	57



3.1.3. Formulación Interrogativa del Problema .....	58
3.1.3.1. Formulación de problemas general.....	58
3.1.3.2. Formulación de problemas específicos .....	58
3.1.4. Objetivos de la investigación.....	59
3.1.4.1. Objetivo General .....	59
3.1.4.2. Objetivos Específicos .....	59
3.1.5. Justificación e importancia .....	59
3.1.6. Alcances.....	60
3.1.7. Delimitación de la Investigación .....	60
3.1.8. Limitación de la Investigación.....	60
3.2. Hipótesis .....	61
3.3. Variables .....	61
3.3.1. Operacionalización de variables .....	62
3.1. Diseño de la investigación .....	62
3.1.1. Tipo de investigación.....	62
3.1.2. Nivel de la investigación .....	62
3.1.3. Método.....	63
3.1.4. Diseño de investigación.....	63
3.1.5. Población y muestra.....	64
3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	65
3.1.7. Forma de Tratamiento de Datos .....	65
CAPÍTULO IV .....	66
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	66
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos .....	66
4.2. Diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N° 3 .....	66

4.2.1. Geología.....	67
4.2.2. Geología estructural.....	69
4.2.3. Geomorfología.....	69
4.2.4. Geotecnia.....	70
4.2.5. Análisis de Estabilidad.....	72
4.3. Estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte.....	74
4.3.1. Depósitos Aluviales y Eluviales.....	80
4.3.2. Geomorfología Regional.....	81
4.3.3. Geomorfología Local.....	89
4.3.4. Sismicidad Histórica.....	90
4.3.5. Sismos.....	93
4.4. Calculo del Factor de seguridad.....	101
4.5. Capacidad y vida útil de la Desmontera.....	108
4.5.1. Capacidad de depósito de desmonte.....	108
4.6. Discusión de resultados.....	111
4.7. Aporte del tesista.....	111
CONCLUSIONES.....	112
RECOMENDACIONES.....	114
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	115
ANEXO.....	117
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Unidad Minera Sangre de Toro. ....	1
Figura 2. Unidades Estratigráficas. ....	8
Figura 3. Columna estratigráfica regional. ....	9
Figura 4. Geología local. ....	10
Figura 5. Distancia Entre Caminos de Carga .....	28
Figura 6. Diseño de botaderos con presencia de fallas.....	29
Figura 7. Napas Freáticas .....	29
Figura 8. Método de Estabilización Física de Botaderos de Desmante. ....	31
Figura 9. Tamiz con apertura "w" .....	37
Figura 10. Envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. .....	49
Figura 11. Ubicación del deposito de desmontes de mina N° 3.....	67
Figura 12. Geología Local.....	68
Figura 13. Estación Geomecánica. ....	72
Figura 14. Diagrama de Rosetas.....	72
Figura 15. Contorno de polos. ....	73
Figura 16. Modo de falla: Planar.....	73
Figura 17. Rocas Hipoabisales (Quebrada Chalhuane).....	80
Figura 18. Cordillera de los andes. ....	85
Figura 19. Quebrada Chalhuane. ....	88
Figura 20. Quebrada San José. ....	89
Figura 21. Mapa de Zonas Sísmicas.....	94
Figura 22. Sistema de Fallas.....	100
Figura 23. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico global.....	101

Figura 24. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico en apilamiento. ....	102
Figura 25. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico local muro de suelo reforzado .....	102
Figura 26. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición pseudoestática. ....	104
Figura 27. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotecnico global. ....	105
Figura 28. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección B – B, condición pseudoestática, análisis geotecnico global.....	106
Figura 29. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección B – B, condición pseudoestática, análisis geotecnico en apilamiento .....	107
Figura 30. Perfil de la Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro.....	109
Figura 31. Vista en 3D de la Desmontera N°3, proyectado. ....	110

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acceso a la Unidad Minera Sangre de Toro.....	2
Tabla 2. Factor de seguridad. ....	50
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	62
Tabla 4. Valoración del macizo rocoso RMR. ....	71

## INTRODUCCIÓN

El depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021, cobra mucha relevancia por ser un componente crítico en el desarrollo, construcción y operación de mina, el cual debe de ser controlado para evitar la contaminación ambiental ya sea por la generación de agua acida y polvos con contenidos metálicos los cuales pueden ser inhalados por todos los seres vivos, el cumplimiento de la normatividad vigente en el estado peruano obliga al cumplimiento con el fin de evitar daño a la propiedad privada y a la flora y fauna circundante a la mina.

El software Rocscience permite análisis la estabilidad física de estos depósitos de desmontes para prevenir en el futuro el desperfecto del botadero ya que en ella interviene estudios de sismología, hidrogeología, mecánica de rocas, mecánica de suelos y el más importante el estudio del suelo de fundación donde se ubicara la desmontera todo ello enfocada en tener estructuras seguras garantizadas por el factor de seguridad que sea mayor que el FS mínimo, que permitirá controlara y gestionar la construcción con costos óptimos.

La tesis cuenta con 4 capítulos:

**CAPÍTULO I: GENERALIDADES**, en las características físicas del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021 que incluye la descripción de los entornos físico y geológico.

**CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN**, Con los antecedentes del trabajo de investigación, la definición de términos y el fundamento teórico.

**CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**, Con la formulación del problema, los objetivos, la justificación, la hipótesis, las variables, y luego la metodología empleada en base al método



científico, detallando el tipo de investigación, el nivel, la metodología seguida para realizar la tesis, la población y la muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

**CAPÍTULO I: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**, en este capítulo se expondrá los resultados de la investigación, la interpretación de los resultados, la discusión y el aporte del tesista.

# CAPITULO I

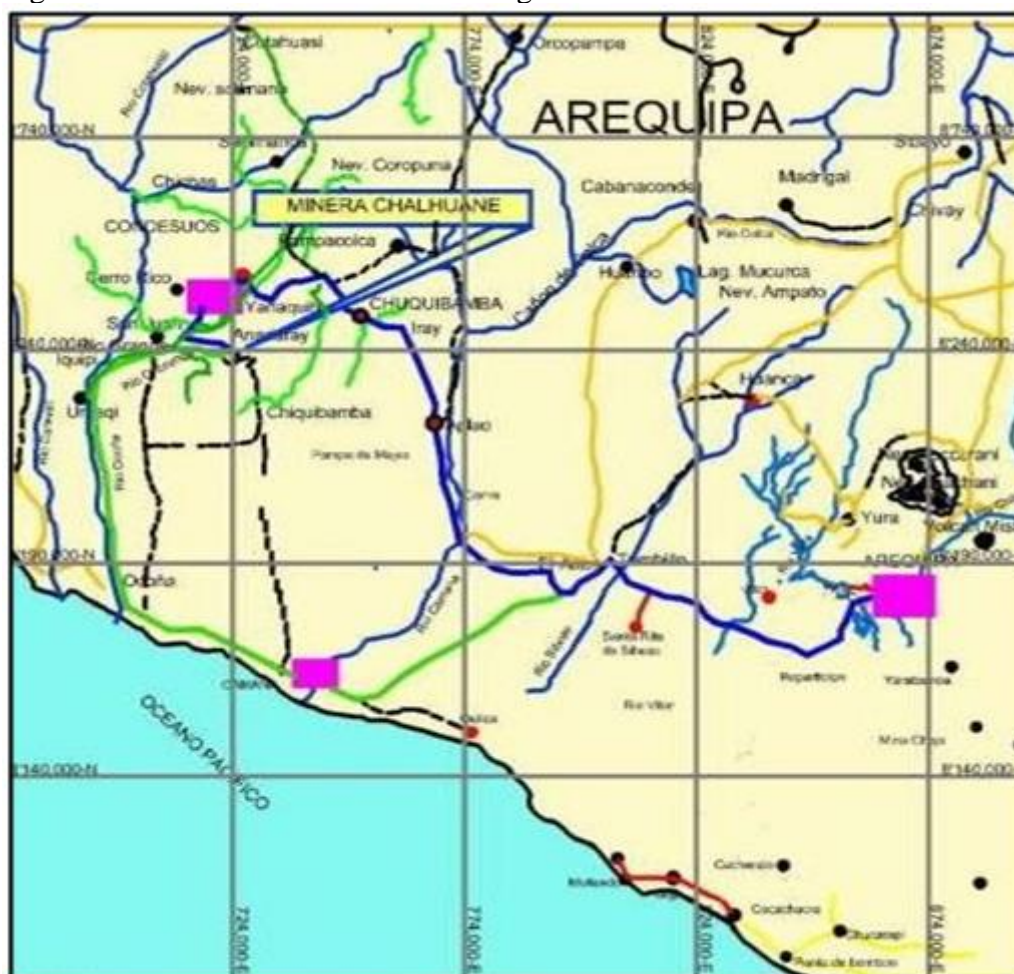
## GENERALIDADES

### 1.1. Entorno Físico

#### 1.1.1. Ubicación y acceso

El Proyecto de la Unidad Minera Sangre de Toro, de la empresa Minera Chaluane S.A.C. se localiza en el distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Región Arequipa, 7 horas y 30 minutos de la ciudad de Arequipa.

Figura 1. Ubicación Unidad Minera Sangre de Toro.



Fuente: Christian Yhonatan Vilca Casazuela, 2018.

El acceso es por vía terrestre y es como sigue:

Tabla 1. Acceso a la Unidad Minera Sangre de Toro.

Ruta	Km	Tipo de carretera	Horas
Arequipa - Ocoña	232	Asfaltada	4,00
Ocoña – Piuca	51	Asfaltada	0,25
Piuca – San Juan de Chorunga	22	Trocha	0,75
San Juan de Chorunga – Mina Chaluane	29	Trocha	1,00
<b>Total</b>	<b>334</b>		<b>6,00</b>

Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

El área de estudio, Depósito de Desmonte de Mina N° 3. Se encuentra Georreferenciado: Datum WGS 84 – Zona 18:

- Este: 721 884.
- Norte: 8 238 611. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 1).

### 1.1.2. Geomorfología

La operación de explotación de Minera Chaluane se encuentra emplazada sobre la cordillera occidental de los andes peruanos. El desarrollo geomorfológico de esta unidad nos muestra geoformas suaves a moderadas en su mayor área y agreste en los valles, corresponde a diferentes unidades litológicas, de naturaleza intrusiva, sedimentaria y volcánica; forma parte de la Cordillera de los Andes y se extiende por el cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi, y con alturas que van desde los 2,600 hasta los 3,800 m.s.n.m. Está conformada por cadenas de cerros que se alinean con una dirección NO-SE. Dentro de esta unidad, El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario

y en los procesos tectónicos que han ocasionado el alzamiento y hundimiento de bloques. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 1).

## **1.2. Entorno Geológico**

### **1.2.1. Geología regional**

De acuerdo a la descripción de los Boletines del INGEMMET (Cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi), la geología regional donde se ubica las operaciones de explotación de Minera Chalhuane corresponden a diferentes unidades litológicas, de naturaleza intrusiva, sedimentaria y volcánica, cuyas edades varían desde el Cretáceo Inferior hasta el cuaternario reciente. Las rocas más antiguas de la región la constituyen los metasedimentos y las secuencias anfibolita gneísicas del Precámbrico. Sobre éstas, en discordancia angular se emplaza una deposición sedimentaria de origen continental, correspondiente al miembro superior de la Formación Moquegua (Terciario Medio-Oligoceno-Mioceno), suprayacente en algunas zonas, se encuentra el volcánico Sencca, que le corresponde una edad Terciario Superior (Plioceno Medio - Superior) (Salvador Mendivil 1965), constituido por rocas volcánicas tufáceas.

#### **Estratigrafía:**

#### **Mesozoico (Jurásico Superior):**

- **Grupo Yura.** - Describe secuencias de cuarcitas, pizarras y areniscas que afloran al NO de Arequipa. En el afloramiento en el fundo El Castillo, en el cerro Tinajas y en el cerro Pachaise, las capas rojas de la Formación Sotillo descansan con discordancia angular sobre los

paquetes del Grupo Yura. La base no es observable debido a los impedimentos, ya sea porque se encuentra cubierta por el Cuaternario o porque ha sido intruida por rocas plutónicas. Estos afloramientos constituyen la continuación de los que se presentan en el cuadrángulo de La Yesera. (Pecho y Morales, 1969).

En el fundo el Castillo, el Grupo Yura está constituido por calizas grises y amarillas intercaladas con areniscas grises y lutitas que se encuentran atravesadas por pequeños cuerpos de andesita gris de grano fino y por granito que a metamorfizado la caliza dando lugar a la formación de granate.

En el cerro Tinajas, se observan afloramientos de un color verde rojizo bastante alterado, además de los sedimentos; en este lugar se presentan brechas volcánicas de color verde y andesitas de grano fino bastante piritizadas.

Siguiendo la quebrada de Esbilla y con dirección Oeste Este, el Grupo Yura está constituido por sedimentos verdes levemente metamorfizados, que en la mayor parte son areniscas recristalizadas. Luego tenemos limolitas calcáreas que efervescen con el HCl. Esta limolita, a medida que se avanza hacia el Este, se vuelve más compacta y no efervece; se observa un cambio lateral de facies bien marcadas, en que la limolita gris pasa a areniscas y cuarcitas bandeadas de colores claros, entre blanco y marrón; en esta área existe una zona de alteración con abundante óxido de fierro.

En el cerro Antane, los estratos se hallan en parte metamorfizados por la acción de varios tipos de intrusivos. El relieve es moderado y está compuesto por areniscas, limolitas que contienen micas y por calizas grises. Los afloramientos del Grupo Yura, continúan hasta el cuadrángulo de la Yesera (Pecho, 1969) y representan parte del Grupo Yura de Arequipa (Benavides, 1962).

### **Mesozoico (Cretáceo inferior):**

- **Súper Unidad Incahuasi:** Está constituida por cuerpos granodioríticos-tonalíticos y monzogranitos. Las granodioritas-Tonalitas; son las rocas más abundantes y extensas que se encuentran en la esquina Suroccidental de la hoja de Chuquibamba; intruyen a metasedimentos precambrianos, a rocas jurásicas del Grupo Yura y parte del Complejo Bella Unión; han sido intruídas por la Superunidad Tiabaya y los monzogranitos y están cubiertos por rocas volcánico sedimentarias del Terciario y Cuaternario. Su mayor exposición se encuentra en los cerros Atcate, Quemadal, Antaccasa, Lomada Pecoy, Jachamalja y cerro Callpa. Entre el cerro de Murcopata y la Quebrada de Rata al Suroeste de Chuquibamba, las tonalitas y granodioritas están cubiertas por la Formación Huaylillas; son leucócratas de grano constituido por plagioclasas de 2 a 5 mm., cristales alargados de hornblenda de 1 mm., de ancho y cuarzo.

### **Cenozoico (Terciario inferior):**

- **Formación Caravelí:** Esta formación ha sido descrita por V. Pecho (1983) y consiste de conglomerados, areniscas tobáceas y lentes de

tobas retrabajadas que afloran en la ciudad de Caravelí en el cerro de Cuno Cuno ubicado en la hoja de Caravelí, prolongándose hasta las proximidades de la hoja de la Yesera. La mayor parte de los afloramientos de la Fm. Caravelí, se localizan al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba; son la prolongación de los miembros conglomerádicos Cruz Blanca – Cuno Cuno (Pecho 1983), que descansan discordantemente sobre la Formación Sotillo y sobre la superficie labrada en las formaciones cretáceas o en el Batolito; infrayace discordantemente a la Fm. Sencca y al Grupo Barroso en las quebradas de Escalera y Piñog. Esta formación de origen continental, no presenta fósiles y los elementos constituyentes de los conglomerados son el resultado de la erosión de las rocas subyacentes y acumulación rápida. La Edad y correlación de esta formación no se han encontrado evidencias paleontológicas, la edad se basa solamente en su posición estratigráfica, así, esta suprayace a la Formación Sotillo é infrayace a la Formación Paracas de probable edad Eoceno medio a superior, por lo que se atribuye una edad probable Paleoceno-Eoceno. Se correlaciona con el miembro superior de la Formación Seraj de las hojas de Huambo y Orcopampa.

#### **Cenozoico (Terciario superior):**

- **Formación Sencca:** Esta formación fue establecida por S. Mendivil (1965). En ella describe a un conjunto de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica que afloran en la quebrada de Sencca, ubicada al SE de la hoja de Maure. La formación Sencca de los cuadrángulos de Cotahuasi

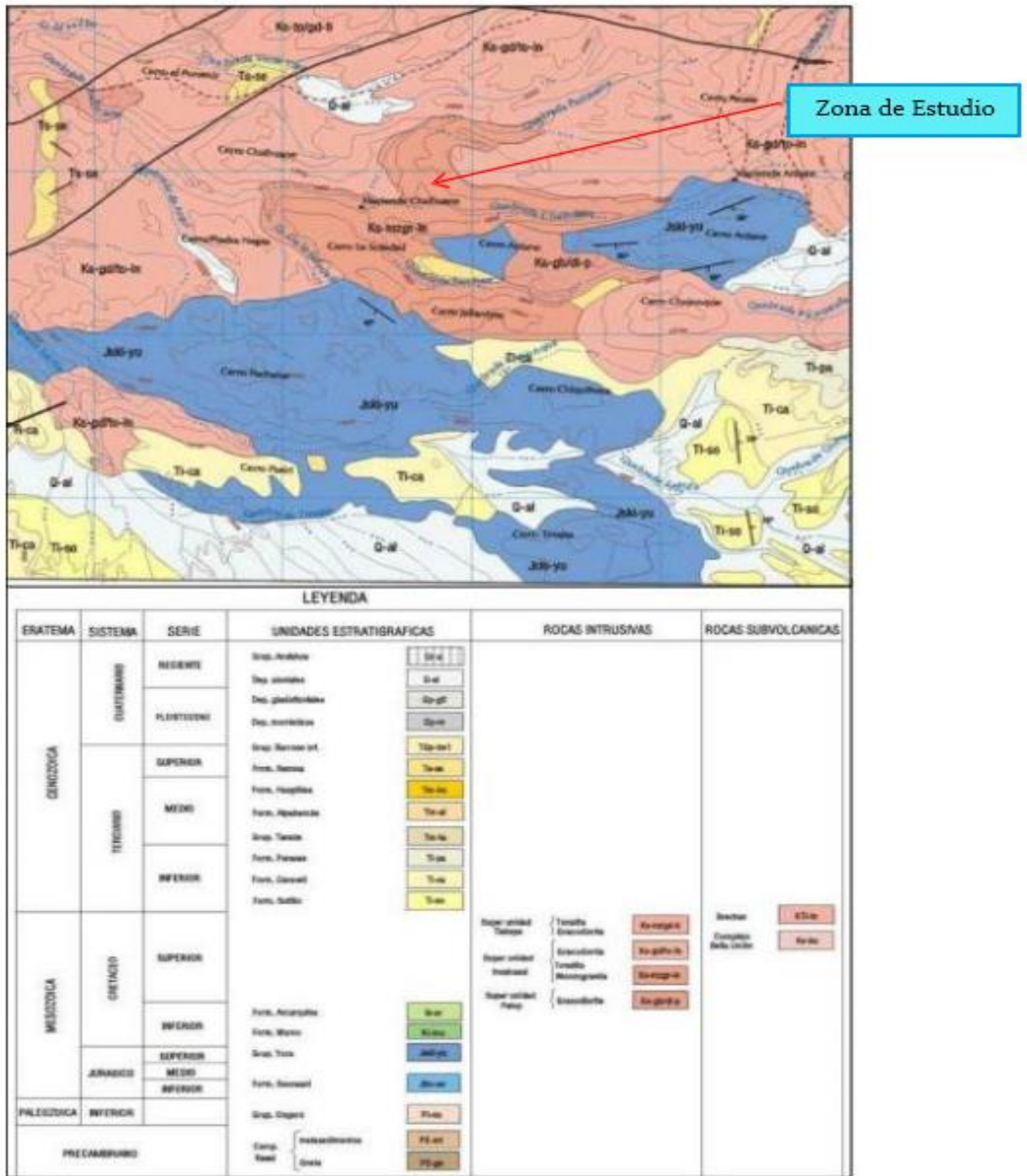
y Chuquibamba, ocurre en forma limitada al NE de la concesión Eva Hilda en las quebradas Piñog, la Tranca, Lucmayoc, Tapococha; se hallan formando las pampas como la de Sique, Auqui, Chalucmarca de poca extensión; generalmente cubren o rellenan una superficie baja. Las rocas que constituyen esta unidad, son esencialmente piroclásticas, compuestas por tobas dacíticas y riodacíticas cuyo color predominante es el gris, que puede variar a blanco amarillento y rosado.

El mayor espesor se observa a ambos lados del río Arma, aguas arriba del pueblo de Salamanca; es de 150 m. Edad y Correlación; en los cuadrángulos vecinos de Huambo y Orcopampa (Caldas, 1993), se le considera a esta formación volcánica de edad pliocénica debido a determinaciones K-Ar practicadas en muestras tomadas en la parte alta de Umachulco, las cuales dieron una edad de  $6.2 \pm 0.2$  m.a. (Arenas, 1974); también en esta publicación se consideran otras dataciones, tales como el sillar de Arequipa con un promedio de 3 m.a.

Esta formación, por tanto, de acuerdo a sus relaciones de campo y a sus dataciones numéricas, se ubica en el Plioceno medio. La Formación Sencca ha sido ampliamente descrita en todo el Sur del Perú y ocurre en los cuadrángulos vecinos, tales como la Yesera, Orcopampa, Cháparra, Jaqui, Maure, Characato. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, pp. 1-4).

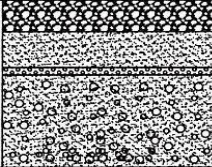
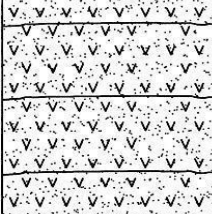
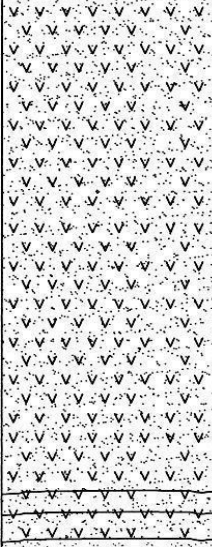
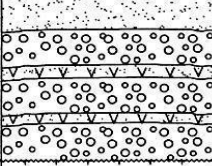
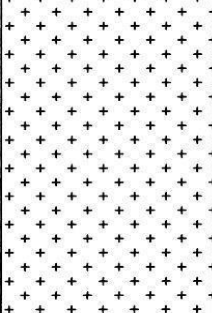


Figura 2. Unidades Estratigráficas.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos - Proyecto de la Unidad Minera Sangre de Toro, de la empresa Minera Chaluane S.A.C. 2018.

Figura 3. Columna estratigráfica regional.

EON	ERA	PERIODO	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	POT. (m)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Depositos: Aluviales Eluviales Coluviales	15		Depositos aluviales conglomerados y gujarros sub redondeados, arenas, gruesas y limo.	
			PLEISTOCENO	GRUPO BARROSO	ESTRATO VOLCAN COROPUNA	20		Tobas dacíticas a riódacíticas
							Discordancia erosional	
		NEOGENO	PLIOCENO	Fm. SENCCA	50		Rocas volcánicas piroclásticas, riolitas de color marrón de textura microcristalina. Ignimbritas de color marrón claro.	
			MIOCENO	Fm. Moquegua	SUPERIOR	15		Intercalación de conglomerados, areniscas tobáceas y tobas retrabajadas
							Discordancia angular	
		MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	Super Unidad Tiabaya Super Unidad Incahuasi	?		Granodioritas, tonalitas del Batolito de la costa color blanco rosáceo. Superunidades Tiabaya, Incahuasi
							Discordancia	

Fuente: Área de Ingeniería y proyectos - Proyecto de la Unidad Minera Sangre de Toro, de la empresa Minera Chalhuane S.A.C. 2018.



### 1.2.3. Geología estructural

Estructuralmente en la zona evaluada no se evidencia escarpas, desplazamientos, rasgaduras y/o brechamiento propio de fallas, sin embargo, en esta ocasión se destaca la presencia de la falla Consuelo la cual tiene una dirección SE y llega hasta la zona central de la operación. Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 5).

### 1.2.4. Geología económica

En la mina Sangre de Toro, las leyes de oro obtenidas en esta etapa son muy bajas, llegan hasta 0.44 g/TM, mientras en la campaña de muestreo en el año 1986 alcanza hasta 3.8 g/TM, como referencia cabe agregar que el Dr. J. Paredes en febrero de 1986 tomó una muestra de 0.60m. de ancho que dio 10.06 g/TM de Au, 0.4 Oz/TC de Ag y 0.25% de Cu. Estas diferencias de leyes implican tomar especial cuidado en la toma de muestras espaciadas y análisis en el laboratorio, para poder definir su verdadero interés económico. La Veta El Viento corresponde a la mitad oriental de la estructura, ha sido reconocida en forma discontinua con laboreo subterráneo algo profundo y cateos en una longitud de 350 m. y anchos de 0.10 m. y 0.45 m. El extremo este termina en ramaleo tipo cola de caballo. La veta corre con rumbo N55°W y buzamiento 65° a 85° SW. Esta veta ha sido objeto de intenso laboreo actual por los pequeños mineros, habiendo sido explotada con un socavón de 100 m. de largo que atraviesa la cumbre del Cerro Antane. La veta se expone entre las cotas 1840m. Y 2000m. Y presenta muy buenos encampanes. La mineralización se presenta en vetillas que rellenan

parcialmente la estructura, consisten de cuarzo con boxwork, limonitas y oro libre. El encajonante lo constituye la roca anfibolítica gris oscura. Presenta buenas leyes de oro en el tramo oeste, hacia el sector este se tiene poca información debido a la gruesa cobertura cuaternaria. (Vilca, 2018 pp. 37-38).



## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. Marco Teórico

##### 2.1. Antecedentes de la investigación

Según Bautista (2020) en la tesis “Estudio minero para el diseño del depósito de desmonte con muro de contención en una mina subterránea, Cajabamba 2020”, el trabajo de investigación del depósito de desmonte está orientado en evaluar los parámetros de estabilidad física que debe cumplir su diseño de depósito de desmontes y tiene como objetivo realizar el diseño del depósito de desmonte con muro de contención evaluando la estabilidad física proponiendo el número de bancos necesarios, la estabilidad hidrológica, la capacidad y vida útil. Dentro de la metodología utilizada se encuentra la observación directa. Para el análisis de estabilidad el usó el software Slide de la firma Rocscience, se concluyó que la mejor estabilidad se obtiene al construir 3 bancos para el depósito de desmonte con alturas empezando desde la base de 11 m, 6m y 5 m, y con ángulo de inclinación de 34° y la vida útil del depósito de desmonte es 7.5 años. (Bautista, 2020).

Según Acuña (2020) en la tesis “Análisis geotécnico para la estabilidad de las desmonteras DSB1, y DSB2, Santa Bárbara, Huancavelica 2019” el objetivo realizar el análisis geotécnico para la estabilidad de desmonteras en Santa Bárbara, Huancavelica para evaluar la estabilidad de las desmonteras en estudio, se realizó el análisis mediante un modelo matemático, en las secciones consideradas críticas, se llegó a la conclusión de que son inestables y deben ser

removidas o estabilizadas mediante cortes y rellenos conformados con muros de pie, material de cobertura; en cuanto estabilidad hidrológica se tendrán 4 y 6 tramos respectivamente con sección tipo T1 y T2 de mampostería con pendiente variable de acuerdo a la superficie de terreno natural y descarga finalmente al colchón de mampostería, cuneta de acceso o a la caja colectora según corresponda. Las desmonteras no son generadores de acidez y el contenido de mercurio se considera que es estable y no lixivia su contenido en los cuerpos receptores está dentro de los Límites Máximos Permisibles, y serán revegetados colocándose una capa de material orgánico de 0,25 m de espesor para proseguir con la siembra y fertilización. (Acuña, 2020)

Según Roncal (2020) en la tesis “Influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019” y tuvo por objetivo determinar la influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, en Hualgayoc. La población conformada por los macizos rocosos del Cerro Jesús, del cual extrajo la muestra que se compone por 3 estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos, puesto que la técnica que empleo fue la observación directa, usó también tablas geomecánicas del RMR y GSI se usaron softwares como ArcGIS, Dips, RocData, RocFall, Slide y AutoCAD Civil 3D. La roca de fundación de la de la desmontera es favorable su construcción y según los criterios geotécnicos la desmontera deberá tener 3 bancos de 7 metros para que pueda encontrar el ángulo de reposo adecuado, el análisis se prevé posible toppling oblicuo de parte del talud cerro, con lo cual también será necesario construir un muro y una zanja para controlar las rocas que caigan y también el drenar los flujos de agua dentro de la desmontera. (Roncal, 2020).

Según Veliz (2019) en la tesis “Evaluación de la ampliación del depósito de desmonte botadero 100 de la mina Cerro Lindo año 2019”, la tesis, pone en relevancia el diseño y análisis de estabilidad del botadero 100 como parte de la ampliación del depósito de desmonte en la etapa de ampliación se realizará por banquetas que consistente en apilamiento y compactación que tendrá una altura de 25 metros con un talud de vertido de 1H: 1.60V metros que asegura la estabilidad física del depósito. El análisis de estabilidad que efectuó en su investigación lo realiza utilizando modelos de equilibrio límite y el método de Spencer con la ayuda del programa Slide V.6 de la familia de Rocscience la mina Cerro Lindo por sus operaciones actuales con una producción de la planta concentradora es de 21,100 tpd. A finales del año 2013 y comienzos del 2014, la empresa SVS Ingenieros realiza el diseño del depósito de desmontes botadero 100 a través de “Estudio de ingeniería básica y de detalle del Botadero 100”. En función a un plan anual de producción de desmontes, Nexa requiere de una desmontera que pueda cubrir un almacenamiento adicional mínimo 500,000 metros cúbicos de desmonte. (Veliz, 2019, p. xiv).

Según Cuzco y Correa (2018) en la tesis “Diseño de botaderos para los residuos de la producción de óxido de calcio en la concesión Colquirrumi No 49 - B, provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca, 2018”, Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Minas, Cajamarca, Perú. La tesis tiene por objetivo determinar el diseño de botaderos para la producción de óxido de calcio, actividades mineras de la concesión Colquirrumi No 49-B, provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca, 2018. En esta investigación se realizó un análisis de estabilidad física, se considera que nuestro promedio del factor 1.682



con bancos de 2 metros de altura, 3 metros de ancho y un ángulo de 45o, la desmontera tiene 68 metros de ancho, 114 metros de largo haciendo y 8.30 metros de altura, haciendo un volumen de 64 341.6 metros cúbicos; considerando cuatro bancos de 2 metros, con 3 metros de ancho; el botadero tiene una capacidad para 57 894 metros cúbicos de desmonte. En relación a la estabilidad química, los análisis orgánicos y análisis inorgánicos en los suelos de los lugares muestreados se encuentran en la categoría NORMAL teniendo en cuenta el cuadro de valores de intervención de monitoreo del suelo. El promedio aritmético de concentración de partículas en suspensión PM10 es 4.20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual no supera el límite máximo permisible fijado en 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El promedio aritmético de concentración de partículas en suspensión PM2.5, es 3.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual no supera el límite máximo permisible fijado en 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con respecto al dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el promedio aritmético es 1.61  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual no supera el límite fijado en 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para el monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), el promedio aritmético de concentración es 2529.16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual no supera el límite fijado en 30 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El promedio aritmético de concentración de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), es 69.34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual no supera el límite fijado en 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De acuerdo a su análisis de estabilidad hidrológica no representa mayor peligro ya que el excedente hídrico solo se presenta en la temporada de lluvia desde enero hasta marzo, y la recarga no es mayor a 30.86 ml/m<sup>3</sup>. (Cuzco y Correa, 2018, p. x).

Según Paucar (2015) en la tesis “Diseño y estabilidad de botaderos de desmonte para la remediación de pasivos ambientales de la mina Recuperada - Huancavelica”, tesis para optar el título de ingeniera Civil. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Civil, Huancayo, Perú. La

presente investigación tiene como objetivo. El diseño y análisis de estabilidad del botadero de desmonte ubicada en la zona Blenda Rubia con altitud promedio de 4,390 msnm, cuyo propósito es la remediación de pasivos ambientales de la Unidad de Producción Recuperada. La conformación del botadero de desmonte es mediante el método de banquetas, que consiste en el apilamiento y compactación de capas de material pasivo ambiental, configurando una altura máxima de 10 metros, un talud de vertido de  $26.56^\circ$ , que asegura la estabilidad física para fines de cierre. Se tendrá un canal de coronación de mampostería de piedra. Sus pruebas geoquímicas realizadas arrojan resultados muy probables respecto a la posibilidad de generar aguas ácidas; por lo que se ha diseñado un dique perimetral de pie de talud y una franja de almacenamiento de escorrentías superficiales, impermeabilizada con geomembrana, que evitará la salida de agua fuera del depósito. Su evaluación de estabilidad de taludes, basado en el método Bishop, del botadero de desmonte, con las características geométricas planteadas, garantizan una solución integral al problema de estabilidad física. Cuyo resultado en función del Factor de Seguridad son mayor al mínimo recomendable; en condiciones estáticas ( $FS=1.893>1.5$ ) y condiciones Pseudoestático ( $FS=1.183>1.0$ ). Sus principales conclusiones son: El diseño del botadero de desmonte propone una estabilidad física, geoquímica e hidrológica concordante con la normativa vigente en la Remediación de Pasivos Ambientales, con características de ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la preservación paisajista. (Paucar, 2015).

Según, MSc Ing Carlos Aguirre Carpio Ingeniero Geotécnico Senior (2012) en el trabajo de investigación “Construcción de botaderos de desmonte a partir

de una clasificación geotécnica en zonas de climas secos con inviernos rigurosos”, Tiene en cuenta desarrollo minero es muy importante considerar la relación Mineral vs Material Estéril, el desbroce de la fracción no mineralizada necesariamente tiene que ser acopiada en distintos sectores previamente evaluados y seleccionados para dicha función. Los botaderos se caracterizan por ser estructuras a manera de montones contruidos de diversas formas, en algunas ocasiones se trata de apilamientos directamente sobre terrenos planos o en pendientes muy suaves, en otros casos se apoyan simplemente sobre los taludes naturales o a lo largo de quebradas e inclusive a lo largo de crestas. Estos apilamientos pueden estar sujetos a distintos grados de deformación que pueden dar lugar a distintas formas de ruptura, el Ingeniero Geotécnico deberá estar convenientemente preparado para identificar dichas deformaciones y así tomar acción rápida para remediar dichos inconvenientes. El objetivo de su trabajo es mostrar un Sistema de Clasificación Geotécnica preparado para valorar las distintas condiciones en los botaderos, optimizar su construcción, controlar la calidad de los materiales, distribuir ordenadamente los mismos y sobre todo mantener la Seguridad y Producción como los factores más importantes en su construcción. (Aguirre, 2008).

## 2.2. Definición de Términos

- **Banco de Mineral o Desmante:** “Término usado en minería para definir rocas de diferente tamaño” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 356).
- **Botaderos:** “Conocidos también como canchas de depósito de mineral de baja ley o ganga. Usualmente, se localizan en el entorno de la mina

y fuera de la zona mineralizada” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 35).

- **Componente Minero:** “Es el yacimiento minero así como los equipos, infraestructuras, instalaciones, complejo metalúrgico, excavaciones superficiales o subterráneas, refinerías y espacios necesarios para el desarrollo de las actividades mineras de explotación, transporte interno, beneficio, disposición de relaves y desmontes, almacenamiento y transporte del recurso mineral metálico o no metálico de una unidad minera así como los servicios e instalaciones auxiliares” (Ministerio de energía y minas, 2017, citado por Pinado, 2021, pp. 35 - 36).
- **Confiabilidad:** “La confiabilidad se puede entender como la posibilidad que tiene un sistema para desempeñar las funciones para las que fue concebido” (Augusto & Montoya, 2011, citado por Pinado, 2021, p. 36).
- **Método de dovelas:** “Dentro de los métodos no exactos se encuentran aquellos que consideran completa la masa de suelo que desliza, como un todo, y son conocidos como métodos de estabilidad global de la masa de terreno; y, aquellos que dividen la masa deslizante en fracciones más pequeñas para simplificar el análisis, los cuales se denominan métodos de las dovelas” (Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, 2013, citado por Pinado, 2021, p. 36).
- **Componente:** Es aquella instalación destinada a desarrollar los procesos de la actividad minera de beneficio, mencionados en la Ley y

el Decreto Supremo N.º 03-94-EM, Reglamento de diversos títulos del TUO de la Ley General de Minería y sus modificatorias. (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 36).

- **Estabilidad física:** “Comportamiento estable en el tiempo de los componentes o infraestructura operacional minera frente a factores exógenos y endógenos, que evita el desplazamiento de materiales, con el propósito de no generar riesgos de accidentes o contingencias. (Pinado, 2021, p. 36).
- **Mina:** Es un yacimiento mineral que se encuentra en proceso de explotación” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 36).
- **Material granular:** “Es aquel que está formado por un conjunto de partículas macroscópicas sólidas lo suficientemente grandes para que la fuerza de interacción entre ellas sea la de fricción” (Ragonezi & Santana, 2018, citado por Pinado, 2021, p. 36).
- **Método probabilístico:** “Aquellos que permiten la evaluación de la distribución de probabilidades de una variable dependiente en función del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables independientes que la generan” (Augusto & Montoya, 2011, citado por Pinado, 2021, p. 36).
- **Planta de Beneficio:** “Es aquella instalación destinada a desarrollar los procesos de la actividad minera de beneficio, mencionados en la Ley y

el Decreto Supremo N.º 03-94-EM” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).

- **Probabilidad de falla:** “Es todo comportamiento que se pueda considerar anómalo, que puede terminar con el colapso de la estructura geotécnica” (Augusto & Montoya, 2011, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).
- **Pseudoestático:** “Las condiciones sísmicas son consideradas a través de un análisis Pseudoestático, en el que se introducen las aceleraciones máximas del sismo, mediante los coeficientes verticales y horizontales de este” (Sanhueza Plaza & Rodríguez Cifuentes, 2013, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).
- **Simulación:** “Crear modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores (una distribución de probabilidad) para cualquier factor con incertidumbre inherente. Después, calcula los resultados una y otra vez, cada vez usando un grupo diferente de valores aleatorios de las funciones de probabilidad. De esta forma, dependiendo del número de riesgos o incertidumbres y de los rangos especificados, pueden ser necesarios miles de recálculos para completar la simulación” (EALDE Business School, 2020, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).
- **Talud:** “Superficie que se encuentra inclinada respecto al plano horizontal que ha de adoptar permanentemente las estructuras geotécnicas, constituyo una estructura compleja debido a que su estudio coinciden problemas de mecánica de suelos y mecánica de tocas, sin

olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en cualquier criterio aceptable” (De Mateiss, 2003, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).

- **Top soil o suelo orgánico superficial:** “Material orgánico que cubre la superficie del terreno donde se construirá obras superficiales propias de una operación minera (como relaveras, pads, desmonteras u otras) y que es extraído y almacenado para su posterior uso” (Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional En Minería, 2016, 2016, citado por Pinado, 2021, p. 37).

## 2.3. Fundamentación teórica

### 2.3.1. Botaderos de desmonte

Los botaderos son acumulaciones de material estéril o de contenido mineral de bajo rendimiento económico que son apilados en montones fuera del área de proceso. Es necesario considerar un control geotécnico y conocer los riesgos que implica su construcción. (Aguirre, 2012, p. 21).

### 2.3.2. Tipos de botaderos

- **Relleno de valles:** Son botaderos que se desarrollan total o parcialmente rellenando valles. El aspecto más importante en este tipo de botaderos es la prevención de los embalses de agua en la cabecera de los valles.

- **Relleno a través de valles:** Este tipo de botaderos es una variante del relleno de valles. Se caracteriza porque su construcción se realiza de un extremo a otro de un valle atravesando los drenajes.
- **Relleno a media ladera:** Son botaderos construidos sobre terrenos inclinados que no bloquean ningún cauce de agua o cualquier sistema de drenaje.
- **Relleno desde la cresta de la montaña:** Es un caso especial de rellenos de media ladera, el crecimiento del botadero se realiza desde las líneas de cresta en ambas direcciones.
- **Relleno en acopios:** Son las llamadas pilas que consisten en amontonamientos de material de desmonte con taludes formados en todas las direcciones. (Aguirre, 2012, p. 21).

### 2.3.3. Factores que afectan la estabilidad de un botadero

1. Configuración de un botadero teniendo en cuenta altura, volumen y ángulo del talud.
2. Grado de confinamiento y fundación del talud.
3. Condiciones de la fundación, considerando fundación competente, intermedia y débil.
4. Propiedades de los materiales.
5. Métodos de construcción.
6. Piezometría y condiciones climáticas.



7. Ratio de descarga.
8. Sísmica y estabilidad dinámica. (Aguirre, 2012, p. 21).

#### **2.3.4. Valoración del riesgo**

Se podría definir riesgo como el producto de peligro y exposición medido en función a la frecuencia o probabilidad de ocurrencia y magnitud de un evento adverso. La exposición puede ser medida en función a la proximidad del peligro, periodo de exposición e impacto potencial. (Aguirre, 2012, p. 22).

#### **2.3.5. Factores considerados en el sistema**

Los factores considerados en la caracterización de botaderos, tomando en cuenta el criterio de valoraciones de los factores y sumatorio total, son: asentamiento de la plataforma, condición de las bermas, presencia de grietas, condición de la plataforma, instrumentación adecuada, presencia de agua, acción erosiva del viento, tipo de material, distribución del material a lo largo de los frentes de descarga, ángulo del talud, taludes combados y condiciones de la pata. (Aguirre, 2012, p. 22).

#### **2.3.6. Control geotécnico de botaderos**

Para realizar esta labor es necesario considerar los siguientes criterios:

- 1. Selección de las zonas:** Se realizará en función a la observación preliminar detallada en campo y al plan de construcción de botaderos.

2. **Observaciones de campo:** Revisar cuidadosamente los frentes de descarga identificando las condiciones de la plataforma, accesibilidad, crestas, materiales enviados y fundación.
3. **Planeamiento largo plazo y corto plazo:** De acuerdo al planeamiento diseñado a largo plazo se procederá a sectorizar los botaderos.
4. **Zonificación de botaderos:** Se considerarán los siguientes factores:
  - El ancho operativo en frentes de descarga perpendiculares a la dirección de ingreso de los camiones.
  - Un botadero podría tener un ancho operativo menor a 80 m si la descarga se realizara en la dirección del ingreso de los camiones.
  - Para identificar la actividad en un botadero se instalarán letreros convenientemente ubicados que indicarán la actividad en cada una de sus zonas.
  - En todo botadero es indispensable la instrumentación y será convenientemente instalada en los límites de las zonas.
  - Las zonas son los puntos de descarga y crecimiento muy dinámicas.
  - Los puntos de delimitación de las zonas pueden o no variar en cuyo caso se empleará la ayuda de topografía para la

nueva delimitación. Con la finalidad de asegurar la estabilidad de un botadero se seleccionarán ciertos sectores para la asignación de materiales especiales.

#### **5. Programación de descargas:**

- La altura del botadero depende de las características de la fundación.
- La longitud del área de descarga no debería ser menor de 80m si la zona es perpendicular a la dirección de ingreso de los camiones.
- Las condiciones del botadero dependen de la observación permanente.
- Las condiciones de la fundación dependerán de las características geotécnicas de los materiales y se clasificarán como buenos, regulares o malos.
- Tipo de material: no todos los materiales extraídos de la excavación son aptos para la construcción de botaderos.
- Angulo de talud. (Aguirre, 2012, p.22).

#### **6. Resumen y conclusiones:**

- El sistema propuesto es producto y su aplicación permite el al tratamiento constructivo.

- La aplicación del sistema facilita el ordenamiento adecuado de los materiales en los diferentes frentes de descarga.
- Si un sector del botadero es inestable puede ser paralizado y se pueden habilitar otros sectores sin problemas.
- Los planes de diseño de botaderos deberán contemplar todos los factores adversos que puedan afectar su normal construcción; presencia de materia orgánica, afloramientos naturales en los taludes, drenajes, entre otros.
- Como todo sistema de clasificación geotécnico este debe ser continuamente calibrado y mejorado con el tiempo.  
(Aguirre, 2012, p. 22).

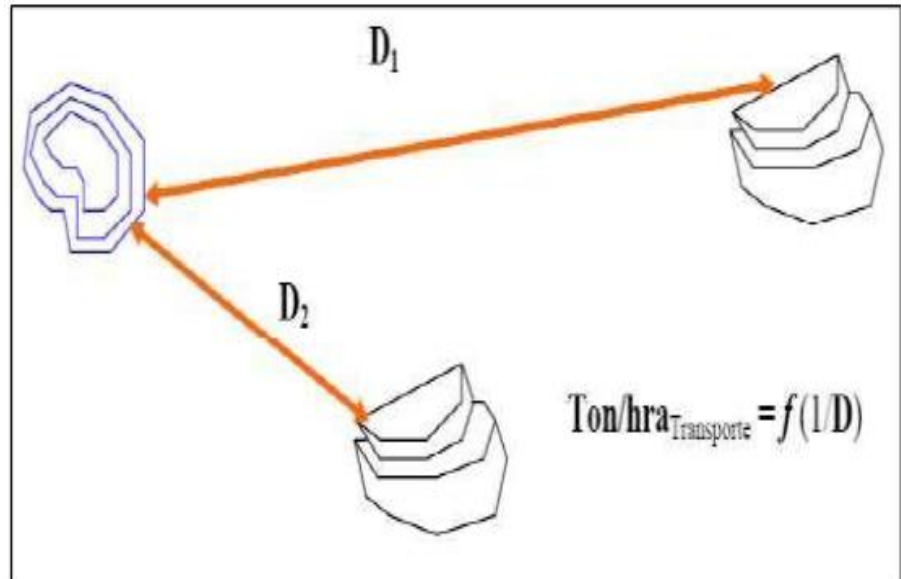
### 2.3.7. Construcción de un botadero

El material estéril extraído de la mina, debe ser dispuesto en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que tendremos que definir las características de estos lugares. Un buen lugar para un botadero lo constituirá el sector que cumpla de mejor manera todas las exigencias para su habilitación, tanto técnicas como económicas, de las cuales podemos mencionar las siguientes: (García, 2013).

1. La distancia entre el punto de carga de los camiones en la mina y el lugar de descarga del material estéril (o botadero) debe ser la mínima posible, por una razón económica, ya que el rendimiento de los equipos de transporte es afectado por esta distancia (Ver

figura 1). (García, 2013, citado por Cuzco y Correa, 2018, pp. 19-20).

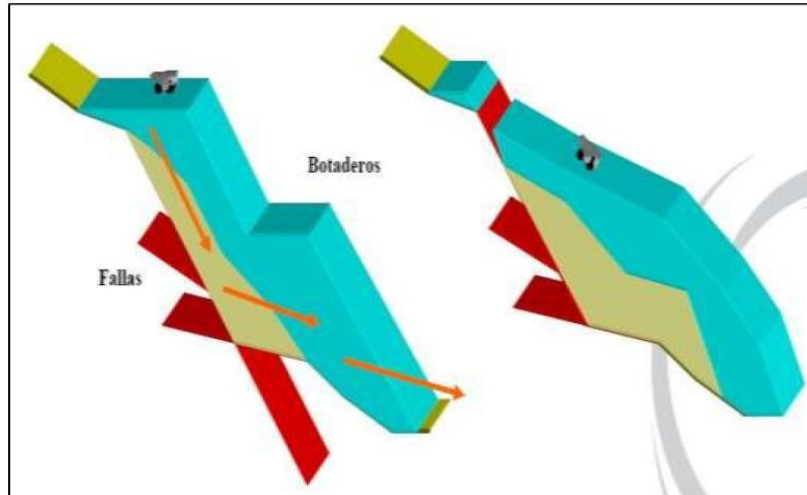
Figura 5. Distancia Entre Caminos de Carga



Fuente: García, 2013, citado por Cuzco y Correa, 2018.

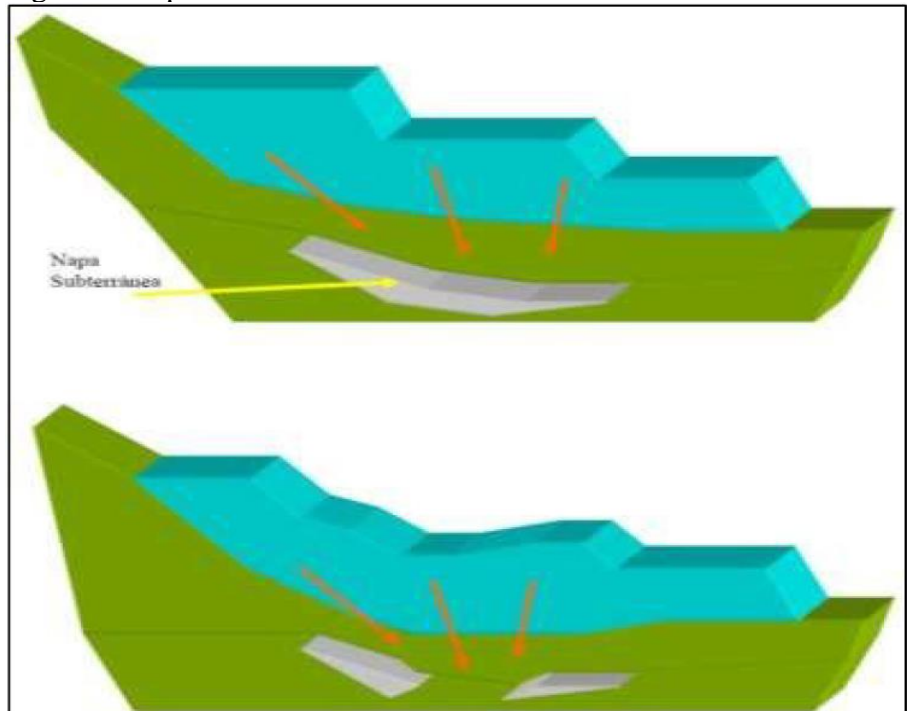
2. El lugar donde se depositarán el material estéril debe ser geológica y geomecánicamente apto para ello, ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar siniestros geomecánicos en el sector mismo (hundimiento) o en sectores aledaños (distribución de esfuerzos). Ver figura 2 y 3, (Zorrilla, 2017, citado por Cuzco y Correa, 2018, p. 20).

Figura 6. Diseño de botaderos con presencia de fallas.



Fuente: Zorrilla, 2017, citado por Cuzco y Correa, 2018.

Figura 7. Napas Freáticas



Fuente: Zorrilla, 2017, citado por Cuzco y Correa, 2018.

### 2.3.8. Método de conformación de taludes

1. **Método de Banquetas:** Es un método en el que se llega a estabilizar físicamente pues se conforma por apilamiento de material pasivo ambiental sobre el terreno. La construcción se realiza configurando una topografía compatible con el entorno.
2. **Método de Gaviones:** Es un método que contiene un muro de gaviones para la contención del pie de talud, se utiliza como muros de contención, lo cual ayuda a no desplazar, dándole una altura adecuada para lograr el ángulo de estabilidad.
3. **Método de Suelo Reforzado:** El método del suelo reforzado nos permite utilizar ángulos mucho mayores que los métodos anteriores, debido al uso de las geomallas, llevándonos a contener mejor el pie del talud, no dejando que éste se prolongue más. Ver página siguiente figura 4. (Paucar, 2015, p. 31).

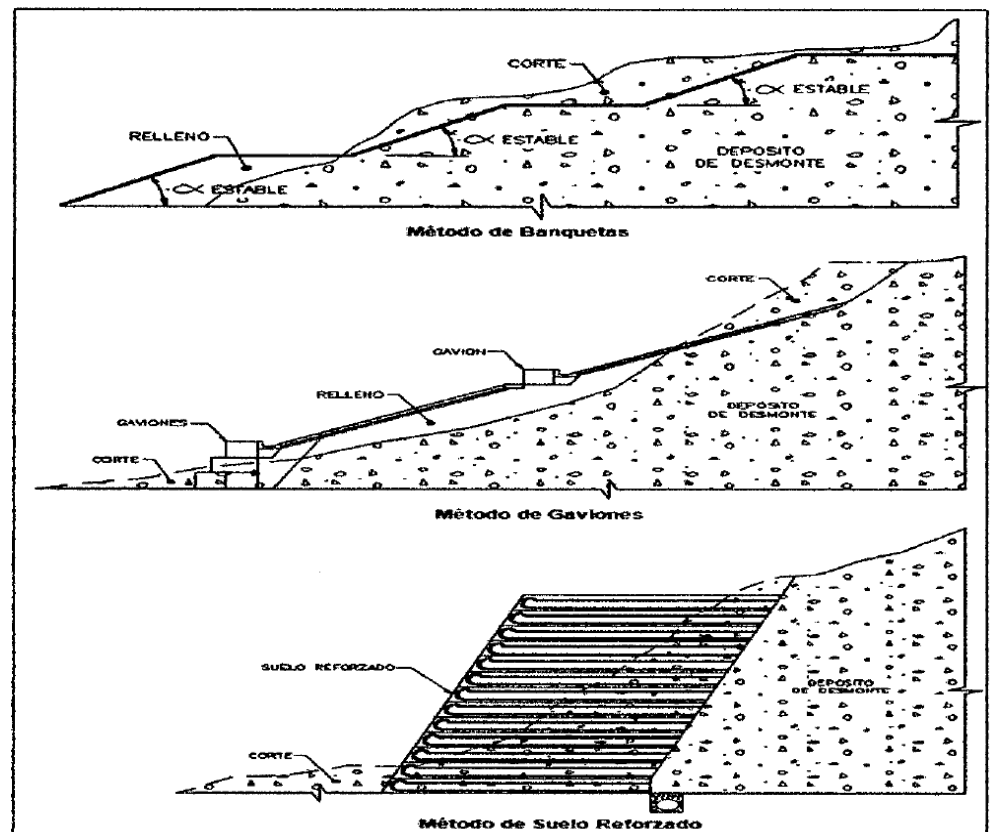
### 2.3.9. Estudios geotécnicos

Se indica que se debe contar con los siguientes datos:

- Naturaleza del material.
- Estratigrafía.
- Densidad y alcance de la intemperización.

- Las propiedades de resistencia al corte de los depósitos de suelo y capas del basamento al pie de los taludes. (M.E.M., 2010, pág. 14, citado por Paucar, 2015, p. 31).

Figura 8. Método de Estabilización Física de Botaderos de Desmonte.



Fuente: Plan de Cierre de la Unidad Minera Recuperada - Capítulo W 5, citado por Paucar, 2015.

- A. **Resistencia al corte:** La resistencia al corte de un suelo se define como la resistencia por unidad de área que este ofrece a la falla o deslizamiento sobre un plano dentro de él.
- **Angulo de Fricción:** El ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad. Generalmente, el ángulo de fricción en suelos granulares varía de  $2r$  a  $42^\circ$ , y la cohesión es baja.



La fricción pura de Coulomb equivale a la simple resistencia a la fuerza cortante en la teoría de la elasticidad. La fricción suele expresarse como  $(0)$ , donde  $\tan 0 = f$ , el coeficiente de fricción. Entonces la componente friccional/ de la resistencia a la cortante,  $T_{\max}$  de un suelo, equivale a  $N \tan 0$ , donde  $N$  es la fuerza perpendicular que actúa sobre la masa. (Capote, 2014, pág. 9, citado por Paucar, 2015, p. 35).

- **Cohesión:** (Suárez Díaz, 2002, pág. 82). La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación. Es la máxima resistencia a la tensión. Resulta de la interacción de factores, como la tensión capilar de las películas de agua, la adherencia coloidal de la superficie de las partículas, la atracción electrostática de las superficies cargadas, y condiciones de drenaje. (Capote Abreu, 1970, pág. 10, citado por Paucar, 2015, p. 35).

### 2.3.10. Métodos probabilísticos

Augusto & Montoya (2011) nos mencionan: “Tradicionalmente, en la práctica de la ingeniería geotécnica, la incertidumbre de los parámetros y de los modelos se ha tratado de manejar por medio de la magnitud de los factores de seguridad o confiando en la experiencia de los ingenieros a cargo de los diseños. Otra forma ha sido el método observacional, en el cual se van ajustando los diseños a medida que se construye. Sin embargo, las exigencias de los proyectos y el desarrollo

de nuevas técnicas exigen y permiten que la incertidumbre pueda ser manejada de una manera más rigurosa en los procesos de diseño geotécnico. Por otro lado, existen nuevas exigencias normativas como las del Euro código 7, que pide la evaluación de la variación de los parámetros involucrados en análisis de estado límite y la determinación de las causas y/o los modos de obtener un estado límite (falla); las posibles consecuencias de la falla en términos de riesgos de vida, lesiones y potenciales pérdidas económicas; la aversión pública a la falla; y los costos y procedimientos necesarios para reducir el riesgo de falla. La variabilidad natural está asociada con la aleatoriedad inherente a los procesos naturales, manifestándose como variabilidad en el tiempo para fenómenos que toman lugar en un único lugar (variación temporal), o variabilidad en el espacio para eventos que se producen en diferentes lugares al mismo tiempo (variación espacial), o variaciones tanto en el espacio como en el tiempo. Esta variabilidad natural se aproxima usando modelos matemáticos simplificados o modelos físicos, los cuales solo proporcionan una aproximación al fenómeno natural en el mejor de los casos”.

Según Ang & Tang (1975): “La probabilidad se refiere a la ocurrencia de un evento en medio otros eventos posibles de ocurrir. A continuación, se presentan algunos conceptos básicos, como también la forma de calcular la probabilidad de un evento. Sin embargo, para un mayor entendimiento de este tema, lecturas complementarias en publicaciones disponibles en la literatura, son recomendables.”, Levine et al. (1998) complementa lo anterior refiriendo: “Los elementos

básicos de la teoría de la probabilidad son resultados el proceso o el fenómeno en estudio. Cada tipo posible de ocurrencia se relaciona como uno (E), un evento simple puede ser descrito por una característica simple”.

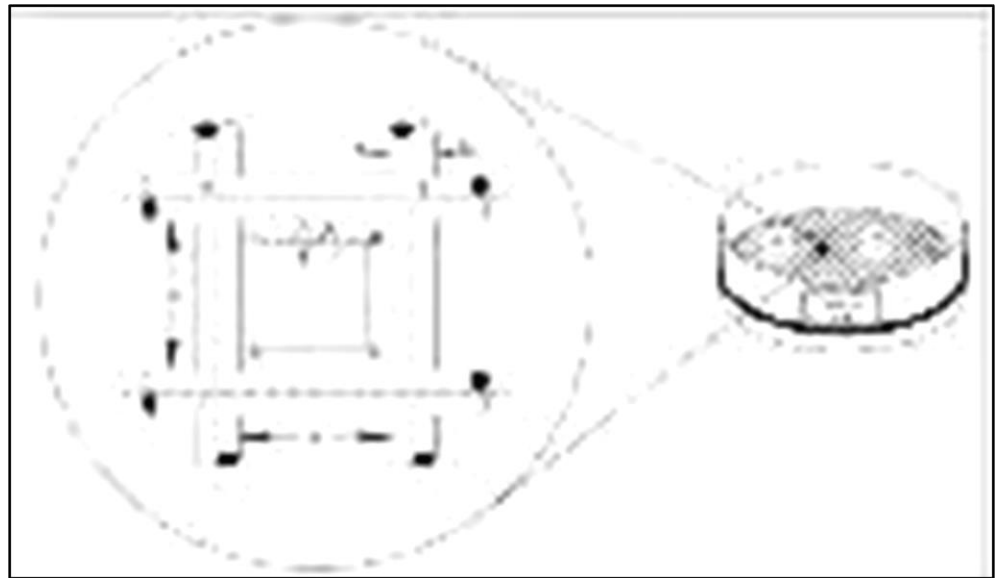
Pacheco de Asís (2001) menciona para un evento aleatorio: “El proceso de recolección de datos relativos a un fenómeno que acusa variabilidad en sus resultados, o sea, no es posible prever su el resultado mismo conociendo el conjunto de todos los resultados posibles (espacio muestral). El evento mutuamente excluyente es la operación de intersección de eventos que no genera un nuevo evento, evento, es decir, ambos eventos no se pueden producir al mismo tiempo. Evento colectivo exhaustivo, es la operación de unión entre eventos que genera un nuevo evento que contiene todos los elementos existentes en los eventos que se han unido, es decir, uno de los eventos debe necesariamente ocurrir.” Así mismo, el autor complementa los descrito mencionando que: “Los métodos probabilísticos son aquellos que permiten la evaluación de la distribución de la probabilidad de una variable dependiente en función del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables independientes que generan a la variable dependiente. Existen tres (3) métodos bastante utilizados en la estadística aplicada que son: el método de Monte Carlo, método FOSM y el método de puntos de estimativa de Rosenblueth”. (Pinado, 2021, pp. 16 – 17).

### 2.3.11. Método Montecarlo

Hidalgo & Assis (2011) nos mencionan: “El método de Monte Carlo, es una metodología que permite determinar la función de distribución de frecuencia de la variable dependiente analizada mediante la generación de números aleatorios uniformes que representan las variables independientes envueltas. Considera este método que la variable dependiente estudiada presenta una función  $Y = f(X_1, X_2 \dots X_n)$  y que son conocidas las distribuciones de probabilidad de las variables  $X_1, X_n$ . Son atribuidos valores de frecuencia a valores aleatorios de las variables  $X_1, X_2 \dots X_n$  y se evalúa la función  $Y$  para estos valores. El proceso se repite de forma iterativa tantas veces como sea necesario para conseguir la convergencia de la distribución de probabilidad. Consecuentemente, si el valor aleatorio  $R_u(0, 1)$  es generado, el valor de  $x = r$  que satisface  $F(r) = R_u(0, 1)$  será un valor aleatorio de la función de distribución de probabilidad  $f(x)$  dentro de  $F(r)$ . La principal aplicación de la técnica de Monte Carlo está en la aproximación de la función de probabilidad para una o más variables aleatorias. La simulación de Monte Carlo requiere una capacidad alta en los cálculos, para la generación de una amplia gama de números. Para este proceso son necesarias varias tentativas, que conducen al éxito dentro de un nivel específico de confianza. Cada tentativa es el resultado de un experimento en el cual la probabilidad de éxito  $R$  y la probabilidad de fracaso  $1 - R$ , siendo todas las tentativas independientes. Por consiguiente, las iteraciones generan una distribución binomial. Para  $N$  tentativas, donde  $N$  es amplio, puede ser

usada la aproximación normal para la distribución binomial con valor esperado  $NR$  y desviación estándar  $NR(1-R)$ . A partir del conocimiento de las distribuciones estadísticas de las variables independientes, valores de estas variables podrían ser obtenidos por medio de un generador de números aleatorios y valores de la variable independiente ser calculados a partir de estos. Se puede decir que cuando este proceso sea repetido  $N$  veces, la distribución de probabilidad (forma y magnitud) de la variable dependiente sería obtenida, para  $(1 - \alpha) \%$  de confianza. A partir de esta distribución, sus parámetros estadísticos tales como media, varianza, probabilidades acumuladas etc., podrían ser calculadas.” Cárdenas Catalán (2018) a su vez referenciando a Hammersley & Handscomb (1964) menciona que: “Históricamente, el método de Monte Carlo fue utilizado de forma reconocida por primera vez como una herramienta de investigación, en el desarrollo de los trabajos de la bomba atómica durante la II Segunda Guerra Mundial. Este trabajo implicó simulaciones directas de problemas probabilísticos, con el propósito de estudiar la difusión aleatoria de neutrones en material inestable. Pero incluso en una breve etapa de esta investigación, John von Neumann y Ulam refinó esta simulación directa con ciertas técnicas de reducción de la varianza, en particular los métodos Ruleta Rusa y División.” Harr (1987) en su publicación en su publicación *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, nos presenta la siguiente interpretación:

Figura 9. Tamiz con apertura "w"



Fuente: Harr, 1987, citado por Pinado, 2021.

En la figura se puede observar un tamiz que tiene una abertura de “w” y un alambre de diámetro “D”, también se ve la representación de una partícula de suelo de tamaño “d”, y con esto se pretende encontrar la probabilidad de que esta partícula pueda pasar a través de esta abertura de la malla; esto no sucederá toda vez que la partícula pueda caer fuera de la figura cuadrada delimitada por ABCE, que al mismo tiempo se encuentra dentro de la figura abce; para poder calcular la probabilidad podemos llevar estas delimitaciones a áreas, para el cuadrado abce tendríamos un área de  $(w+D)^2$  y para ABCE sería  $(w-d)^2$ , por lo que, para que la partícula de material pueda pasar el tamiz, tendríamos  $(w+D)^2 - (w-d)^2$ , entonces, matemáticamente la probabilidad de que la partícula sea retenida sería  $1 - \left(\frac{w-d}{w+D}\right)^2$  mientras que para que pueda pasar sería  $\left(\frac{w-d}{w+D}\right)^2$ .

Ante este escenario Cárdenas Catalán (2018) menciona: “Estos resultados proporcionan algunas indicaciones sobre lo que sucede en el

proceso de detección. Asumiendo que no hay interferencia entre las partículas, en una malla de # 200, con  $w = 0,074\text{mm}$ ,  $D = 0,021\text{mm}$ , la partícula con el diámetro 90% de la abertura  $d = 0,067\text{mm}$  tiene la probabilidad de 0,9915 de quedar retenida en la malla bajo condiciones fijas. Si el tamiz se mueve a través de  $N$  ciclos, la probabilidad de que la partícula quede retenida después de estos  $N$  ciclos será de 0.9915. Para calcular el número de ciclos  $N$  necesario para el cribado, considerando que la probabilidad de que la partícula pase al cribado es el 90% y que la probabilidad de que se mantenga retenida es del 10%, se tiene que  $0.9915 = 0,10^N$  o  $N = 270$  ciclos, una tarea manual difícilmente realizada” (Pinado, 2021, pp. 18-20).

#### **2.3.12. Estabilidad de taludes**

Beneyto et al. (2014) nos mencionan: “Cuando se habla de estabilidad, se trata de encontrar la altura crítica del talud o la carga de colapso aplicada sobre una porción del talud, para una geometría y características de suelo dados. Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea, seleccionar una superficie de deslizamiento o falla y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad (el cual se elige en base al destino del talud) se deberá determinar la superficie de falla crítica”.

Suarez Diaz (2009) menciona: “Dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los

métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos, entre otros. Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña. Igualmente, los métodos de límite de equilibrio permiten el análisis combinado con técnicas probabilísticas (Stead y otros, 2000).” Adicionalmente también refiere: “En el caso de los sistemas de falla complejos, es conveniente utilizar metodologías de modelación que tengan en cuenta los factores que producen los movimientos. Los factores que generan el deslizamiento pueden ser complejos y muy difíciles de modelar; no obstante, con el objeto de analizar esas situaciones complejas, existen algunas herramientas utilizando elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y modelos dinámicos. Igualmente, se pueden integrar al análisis modelaciones de hidrogeología y las sollicitaciones sísmicas”.

Li-Liu et al. (2010) referencian a otros autores y nos mencionan: “La técnica de análisis de estabilidad de taludes a través de los elementos finitos se basa en el concepto de "reducción de la resistencia al corte" (Matsui y San, 1992). La cohesión y el ángulo de fricción interna se reducen hasta que ocurra la falla. Después de efectuar la comparación de los resultados numéricos obtenidos por el método del elemento finito y el análisis riguroso del equilibrio límite, Ugai y



Leshchinsky (1995) encontraron una buena concordancia entre ambas soluciones para cortes verticales. Yu et al. (2005) analizaron recientemente la estabilidad tridimensional de presas de enrocamiento usando el método del elemento finito. Griffiths y Lane (1999), Lane y Griffiths (2000), así como Griffiths y Fenton (2004) reportaron una serie de estudios de la estabilidad de taludes por medio de elementos finitos. Los análisis del elemento finito se pueden aplicar a los taludes con

inclinación del talud irregular, suelos no homogéneos, patrón del flujo de agua arbitrario y cargas externas. Entre las ventajas que ofrecen los métodos del elemento finito sobre otros planteamientos, la más notable está asociada con el hecho de que no es necesario suponer mecanismos de falla a priori. En consecuencia, su uso puede extenderse a masas fuertemente heterogéneas o, incluso, a taludes con propiedades aleatoriamente distribuidas (Griffiths y Fenton, 2004). En cuanto a la consideración de las fuerzas de filtración, Griffiths y Lane (1999) y Lane y Griffiths (2000) realizaron los análisis del elemento finito en los taludes sumergidos. Sin embargo, no usaron la formulación de Biot para tratar el problema del flujo de agua. En cambio, consideraron suficientemente precisa y conservadora la estimación de las presiones de poro en un punto del talud, como el producto entre el peso volumétrico del agua y la distancia vertical del punto con respecto a la superficie libre del flujo subterráneo. En otras palabras, el flujo del agua no se resolvió de manera rigurosa, sino que se definió tomando en cuenta solamente la localización del nivel freático. Aunque esta

metodología se utiliza en la mayoría de los estudios de equilibrio límite o análisis límite, no puede aportar buenos resultados si las condiciones de frontera del flujo son complejas y los materiales son heterogéneos, como se mostrará más adelante. (Pinado, 2021, pp. 20 – 22).

### 2.3.13. Factor de seguridad

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:  $FS = \frac{\text{(Resistencia al cortante disponible)}}{\text{(Esfuerzo al cortante actuante)}}$ , En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:  $FS = \frac{\text{(Momento resistente disponible)}}{\text{(Momento actuante)}}$ . Existen, además, otros sistemas para plantear el factor de seguridad,

tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes. La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de “límite de equilibrio” donde el criterio de falla de Coulomb es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para

producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del factor de seguridad. Otro criterio es dividir la masa que se va a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos”.

Al respecto podemos mencionar el análisis de estabilidad estática donde no se considera el efecto del sismo, pero al mismo tiempo también tenemos el análisis de estabilidad Pseudoestático, en donde para hallar el factor de seguridad contra deslizamiento, tenemos que considerar la fuerza horizontal producto del coeficiente sísmico que afectará el peso de la masa potencial de deslizamiento a causa de la falla, la cual será adicionada a las fuerzas estáticas ya existentes.

Suarez Diaz (2009) también nos menciona: “Un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento. La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen

en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales de los diversos métodos son, el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie de falla” (Pinado, 2021, pp. 22 - 24).

#### **2.3.14. Equilibrio Limite**

Beneyto et al. (2014) nos mencionan: “Los métodos de equilibrio límite consisten en dividir la masa de terreno potencialmente inestable en rebanadas verticales (dovelas), Entre mayor sea el número de tajadas, los resultados serán más precisos, calcular el equilibrio de cada una de ellas y analizar el equilibrio global, para obtener un factor de Seguridad (FS) Una vez calculado el valor de FS para una determinada curva de rotura potencial, se repite el proceso para otra distinta, y así sucesivamente hasta obtener un valor mínimo de FS. Entre los diversos métodos que utilizan dovelas, hay diferencias, especialmente en lo referente a las fuerzas que actúan sobre las paredes laterales de las tajadas”

Aguilar Geonaga & Zuñiga Romero (2015) nos mencionan: “A través del método de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. Este análisis de

estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento. La mayoría de los métodos de límite de equilibrio tienen en común, la comparación de las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla. Las variaciones principales de los diversos métodos son, el tipo de superficie de falla y la forma cómo actúan internamente las fuerzas sobre la superficie. Los modelos tienen en cuenta los factores primarios que afectan la estabilidad. Estos factores incluyen geometría del talud, parámetros geológicos, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas por acción de los sismos, flujo de agua, propiedades de resistencia y peso unitario de los suelos, etc. Sin embargo, no todos los factores que afectan la estabilidad de un talud se pueden cuantificar para incluirlos en un modelo matemático de límite de equilibrio. Por lo tanto, hay situaciones en las cuales un enfoque de límite de equilibrio no produce resultados satisfactorios”. (Pinado, 2021, pp. 24 – 25).

### **2.3.15. Método Ordinario o de Fellenius**

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “El método de Fellenius es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R.

Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al

centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad”. (Pinado, 2021, p. 25).

### **2.3.16. Método de Bishop**

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “Bishop tiene en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales; es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante.

Se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares”. (Pinado, 2021, p. 25).

### 2.3.17. Método de Janbú

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “El método simplificado de Janbú se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tienen en cuenta las fuerzas de cortante. Janbú considera que las superficies de falla no necesariamente son circulares y establece un factor de corrección  $f_0$ . El factor  $f_0$  depende de la curvatura de la superficie de falla. En algunos casos, la suposición de  $f_0$  puede ser una fuente de inexactitud en el cálculo del factor de seguridad. Sin embargo, para algunos taludes la consideración de este factor de curvatura representa el mejoramiento del análisis. El método de Janbú solamente satisface el equilibrio de esfuerzos y no satisface el equilibrio de momentos”. (Pinado, 2021, pp. 25 – 26).

### 2.3.18. Método de Spencer

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los

factores de seguridad ( $F$ ) y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas ( $\theta$ ). Para resolver las ecuaciones  $F$  y  $\theta$ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error. Una vez se obtienen los valores de  $F$  y  $\theta$  se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad”. (Pinado, 2021, p. 26).

#### **2.3.19. Método de Morgenstern y Price**

Suarez Diaz (2009) nos menciona: “El método de Morgenstern y Price asume que existe una función que relaciona las fuerzas de cortante y las fuerzas normales entre dovelas.

Esta función puede considerarse constante, como en el caso del método de Spencer, o puede considerarse otro tipo de función. La posibilidad de suponer una determinada función para determinar los valores de las fuerzas entre dovelas, lo hace un método más riguroso que el de Spencer. Sin embargo, esta suposición de funciones diferentes tiene muy poco efecto sobre el cálculo de factor de seguridad cuando se satisface el equilibrio estático y hay muy poca diferencia entre los resultados del método de Spencer y el de Morgenstern y Price. El método de Morgenstern y Price, al igual que el de Spencer, es un



método muy preciso, prácticamente aplicable a todas las geometrías y perfiles de suelo”. (Pinado, 2021, pp. 26 – 27).

### **2.3.20. Estabilidad del depósito de desmonte**

Se toma los criterios geotécnicos y parámetros físicos que, como el criterio de rotura del material, cohesión, peso específico, ángulo de fricción interna. (Vilca, 2019. P. 30).

### **2.3.21. Criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb**

El criterio de rotura de Mohr-Coulomb, inicialmente pensado y utilizado para el estudio en suelos, este es un criterio de rotura lineal, Aunque el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no concuerda con un modelo lineal, Mohr-Coulomb en la actualidad usado mucho por su comodidad y sencillez. Generalmente para el caso del criterio de Mohr-Coulomb, se define el criterio de rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano. En este caso la superficie de fluencia es de la forma  $\tau = f(\sigma)$ .

La ecuación matemática es:

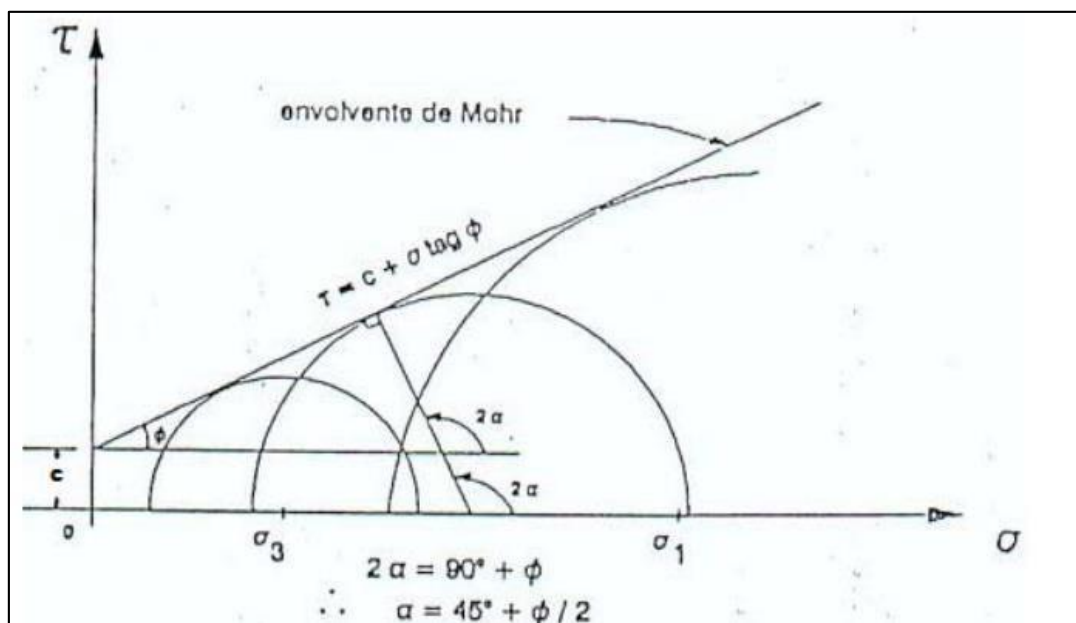
$$\tau = c + \sigma n \tan\varphi$$

Donde:

- $c$  es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

- $\varphi$  es el ángulo de fricción
- $\tau$  es la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura
- $\sigma_n$  es la tensión normal que actúa en el plano de rotura. (Vilca, 2019. P. 30).

Figura 10. Envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.



Fuente: Melentijevic, 2005, citado por Anthony Claudio Vilca Arredondo, 2019.

Permite determinar ( $c$  y  $\phi$ ) y características de deformación.

### 2.3.22. Metodología de evaluación de estabilidad de botadero

Factor de seguridad mínimos: Para el caso de presas de tierra el U.S. Army Corps of Engineers (USACE) propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable. Samaniego, considera al botadero de desmonte como una estructura es similar al de una presa de tierra, se puede determinar los parámetros

comparativos para la evaluación del comportamiento estático y pseudo-estático. USACE, U.S. Army Corps of Engineers (USACE) 2000. Los estudios geológicos, geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables. La metodología seguida en los estudios de estabilidad de taludes parte del conocimiento geológico, hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo. (Gonzalez de Vallejo, 2002, citado por (Vilca, 2019. P. 31).

Tabla 2. Factor de seguridad.

Condición	FACTOR DE SEGURIDAD	
	U.S.A.G.E.	M.E.M.
Estático	1.5	1.5
Pseudo estático	1	1.3

Nota: \* Sismo máximo, periodo de retorno de 100 años.

Fuente: (Centeno, 2018, citado por Anthony Claudio Vilca Arredondo, 2019.

Se muestra los factores de seguridad estático y Pseudoestático para para un periodo de retorno máximo de 100 años

### 2.3.23. Estabilidad de una ladera, talud o deslizamiento

Se tiene que obtener toda la información posible sobre las características geológicas, geotécnicas, topográficas y ambientales que permitan realizar una descripción de los problemas lo más preciso posible y un proponer un diseño efectivo de solución. Para una investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos

que afectan la estabilidad. (Suárez, 2002). La mayoría de estudios geotécnicos, para la estabilidad de taludes se suelen realizar en varias fases. La metodología de estudio que se debe de seguir es igual en todas las fases. Un aspecto del estudio de estabilidad de un talud que se debe de tener en cuenta y resolver al principio, en cuanto se dispone de los datos de la investigación geológico geotécnica, es el modo de falla más probable que puede producirse en dicho talud o ladera. Para estudiar su estabilidad (Oyanguren & Alejano, 2007). Las teorías clásicas usadas para el cálculo de estabilidad de taludes se basan en conceptos principalmente deterministas, que implican determina run factor de seguridad para indicar la estabilidad en un talud. Pero cabe mencionar que los factores de seguridad usados en la práctica geotécnica convencional se encuentran basados en la experiencia, lo cual resulta lógico.

No obstante, es común utilizar el mismo valor de factor de seguridad para un tipo de aplicación tal como es el caso de la estabilidad de un talud. Sin embargo, este valor del factor de seguridad resulta incierto en algunos casos, debido principalmente a la variabilidad inherente e incertidumbre en algunos parámetros de análisis. Es por ello que ante esta incertidumbre se debe recurrir a técnicas y análisis en los cuales ayude a tratar este problema.

Los análisis de confiabilidad proporcionan un medio para tratar con los efectos combinados de la incertidumbre en los parámetros comprendidos en los cálculos y ofrecen un suplemento útil para los

análisis convencionales (Duncan, 2000, citado por Vilca, 2019. pp. 32 - 33).

#### **2.3.24. Probabilidad de falla**

La probabilidad de falla no debe ser vista un como un suplemento no como un reemplazo del factor de seguridad. Calcular el factor de seguridad y la probabilidad de falla es mejor que calcular solo uno de los dos.

Aunque el factor de seguridad y la probabilidad de falla pueden calcularse con alta precisión, juntos son de importancia y cada uno eleva el valor del otro.

Sin embargo, las ventajas y el valor que los análisis de confiabilidad proporcionan a los análisis de estabilidad, aun estos no son muy utilizados en la rutina práctica de la ingeniería geotécnica, y algunas de las razones son:

Primero, comúnmente se percibe que utilizar la teoría de confiabilidad requeriría mayor información, tiempo y esfuerzo, que los disponibles en la mayoría de las circunstancias

Segundo, la teoría de confiabilidad contiene términos y conceptos que no son familiares para la mayoría de los ingenieros geotécnicos.

A lo largo del tiempo la teoría de confiabilidad se ha ido desarrollándose, y ha recibido importantes contribuciones por diversos investigadores tales como Terzaghi, G.B. Baecher, C.A. Cornell, H.E.

Vanmarcke, D. Veneziano, S.G. Vicky T.H. Wu. (Vilca, 2019. pp. 33 - 34).

### 2.3.25. Cálculo del volumen del depósito de desmonte

El cálculo del volumen a utilizar en los botaderos, se realiza con el fin de estimar el espacio físico necesario para la adecuada disposición del material estéril, de modo que podamos definir el lugar o lugares donde se dispondrán dicho material. En función de la necesidad y considerando los aspectos económicos involucrados (costos en el transporte, distancia, discriminación entre estéril con leyes de fino interesantes (es decir potencialmente explotables), tipo de material (oxidado, sulfurado, suelo) y su potencial, uso futuro o su potencial efecto sobre el medio ambiente, características de los sectores disponibles para el depósito de estéril, proceso del mineral principal extraído, se obtendrá como resultado la disponibilidad y ubicación de los sectores para la disposición de estos materiales (Ortiz, 2016). Teniendo en claro todo lo anterior, se puede proceder a calcular el espacio o volumen necesario para depositar los materiales involucrados en la explotación, y el cálculo se puede expresar como:

$$VX = TX / \gamma X \text{ (m}^3\text{)}$$

Donde:

- VX: Volumen necesario para depositar el Material.
- X en metros cúbicos.

- TX: Tonelaje del Material esponjado.
- $\gamma X$ : Densidad compactada final del Material X en el botadero en toneladas por metro cúbico.

Una vez calculado el volumen necesario, debemos identificar los sectores donde podrán ser depositados los distintos materiales teniendo en cuenta las consideraciones antes descritas y simulando la geometría posible del depósito, de modo que se tenga una aproximación de la forma y los límites del botadero y así poder calcular su capacidad. Para ubicar y visualizar gráficamente los futuros botaderos debemos disponer de la información suficiente de los sectores que serán habilitados para ello, como por ejemplo la pendiente del sector, el ángulo de reposo del material (con el cual va a quedar finalmente el material en forma segura), altura de los depósitos, áreas y las figuras típicas que se formarían en función de estos datos, luego hacer los cálculos geométricos correspondientes de volúmenes y finalmente llevarlos a un plano donde serán representados (Ortiz, 2016, citado por Vilca, 2019, pp. 35-36).

#### 2.3.26. Slide

Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones

mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc. Slide es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Incluye análisis de agua subterránea por elementos finitos en estado estacionario, e integra capacidades de análisis de sensibilidad, probabilísticos y análisis retrospectivos. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, tales como estabilidad de terraplenes, presas, taludes en excavaciones mineras o en edificaciones, efectos de cargas externas, sísmicas, eficiencia de elementos de refuerzo, etc. Es un software potente y flexible desarrollado por Rocscience, empresa puntera a nivel mundial en modelización geotécnica. El programa Slide ha ido creciendo de manera continua al mismo ritmo que se expandía la capacidad de análisis geotécnico por ordenador en los últimos años. Este continuo esfuerzo en investigación y actualización, y la solvencia que proporciona su trayectoria, lo convierten en un software de referencia. Prueba de ello es el hecho de ser uno de los programas más reconocidos y utilizados que existen en el mercado. Hoy en día existe una creciente variedad de software de modelización geotécnica a nivel general, y también en relación a la estabilidad de taludes. Sin embargo, **no todos los programas cuentan con la capacidad de cálculo y fiabilidad de Slide.** Este programa destaca, además, entre otros programas del mercado, por una interfaz clara y sencilla y por un manejo muy intuitivo de las diversas capacidades que ofrecen los



menús de análisis. **Con un coste de licencia muy competitivo** en relación a otros competidores en el mercado de su misma capacidad, y su amplia cobertura técnica de análisis, **Slide se convierte en un software líder en el campo de la modelización geotécnica.** (<https://www.icog.es/>).

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. El Problema

Durante las operaciones mineras subterráneas de la mina Chaluane en su unidad sangre de toro se extrae mineral con leyes económicas para proceso y de mineral con leyes bajas (material estéril) comúnmente llamado mineral de ganga o desmontes los cuales deben ser dispuestos a un depósito de desmontes. Estos materiales de ganga son de importancia para su depósito en botadero; que debe ser diseñado para contar con una buena estabilidad y capacidad acorde a la vida útil de la mina, hace poner en relevancia la optimización de su estabilidad

##### 3.1.1. Descripción de la Realidad

La empresa Chaluane S.A.C, dueña de la unidad sangre de toro actualmente en explotación no cuenta con un diseño de ingeniería para su depósito de desmontes, la necesidad de un diseño óptimo y de bajo costo por tonelada de almacenamiento impulsa a realizar esta investigación. La presente investigación permitirá diseñar un depósito de desmontes adecuado para la mina y evitar riesgos por la acumulación de material estéril en zonas inadecuadas y por ello se requiere de un diseño de depósito de desmonte para sus operaciones

##### 3.1.2. Identificación y Selección del Problema

La unidad minera sangre de toro actualmente no cuenta con un diseño de ingeniería para su depósito de desmontes para sus operaciones para lo cual es

necesario la disposición de una nueva área para un depósito de desmontes la cual debe cumplir con las condiciones necesarias para suplir la necesidad de acumular un gran volumen de material, para lo cual será necesario la evaluación de estabilidad física de este diseño para lograr su objetivo de almacenar un gran volumen a un bajo costo de construcción de la infraestructura y de costo bajo por tonelada de almacenamiento

### **3.1.3. Formulación Interrogativa del Problema**

#### **3.1.3.1. Formulación de problemas general**

¿Cuál es el diseño de estabilidad del depósito de desmontes N° 03 en la unidad minera sangre de toro 2021?

#### **3.1.3.2. Formulación de problemas específicos**

1. ¿Como realizar el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N° 03?
2. ¿Como realizar el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte?
3. ¿Como calcular el Factor de seguridad?
4. ¿Como determinar la capacidad y vida útil de la desmontera?

### **3.1.4. Objetivos de la investigación**

#### **3.1.4.1. Objetivo General**

El objetivo principal de este trabajo es realizar el análisis geotécnico para el diseño del depósito de desmonte N° 03 para la unidad minera sangre de toro de la empresa Chalhuane S.A.C.

#### **3.1.4.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N3.
2. Realizar el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte.
3. Calcular el Factor de seguridad.
4. Determinar la capacidad y vida útil de la desmontera

### **3.1.5. Justificación e importancia**

El presente trabajo de investigación se hace necesario debido a que la empresa Chalhuane SAC, en su unidad minera sangre de toro, necesita de un diseño para su depósito de desmontes adecuado para la mina.

Sera importante para la empresa Chalhuane SAC, ya que se contará con un diseño de botaderos cumpliendo con la normativa vigente en el Perú.

### **3.1.6. Alcances**

El siguiente proyecto de investigación es de alcance académico que beneficiara a los estudiantes de la escuela de ingeniería de minas y a empresas para tomar de referencia de diseño de depósitos de desmonte

### **3.1.7. Delimitación de la Investigación**

La investigación se realizará en la compañía minera Chalhuané S.A.C - U.E.A Sangre de Toro, en el año 2021.

### **3.1.8. Limitación de la Investigación**

- De tiempo: La presente investigación comprende de 11 meses para su realización.
- De alcance: El diseño de este depósito de desmonte se tomará en cuenta para la mina.
- De confidencialidad: La presente investigación no cuenta con datos en relación a costos operativos debido a cláusulas de confidencialidad de la empresa en su unidad en estudio
- En la presente investigación solo contara con datos referenciados que aún no fueron validados por la empresa minera.

### 3.2. Hipótesis

#### Hipótesis General

Si realizamos el análisis geotécnico entonces determinaremos la estabilidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021

#### Hipótesis Específicas

1. Se realiza el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N3.
2. Se realiza el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte.
3. Se calcula el Factor de seguridad.
4. Se determina la capacidad y vida útil de la desmontera.

### 3.3. Variables

#### Variable Independiente (x)

Análisis geotécnico.

#### Variable dependiente (y)

Estabilidad del depósito de desmonte N° 03.

### 3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Análisis geotécnico.	Factores hidrológicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación.</li> <li>• Acides.</li> </ul>
		Factores sismológicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coeficiente de sismicidad.</li> </ul>
		Factores geométricos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de banco.</li> <li>• Área.</li> <li>• Longitud de talud.</li> <li>• Angulo de talud.</li> </ul>
		Factores geomecánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad.</li> <li>• Granulometría.</li> <li>• Cohesión.</li> <li>• Angulo de fricción.</li> <li>• Resistencia de rocas.</li> <li>• Resistencia de suelos.</li> </ul>
Variable dependiente	Estabilidad del depósito de desmonte N° 03.	Factor de seguridad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FS &gt; 1: Estable.</li> <li>• FS = 1: Equilibrio.</li> <li>• FS &lt; 1: Inestable.</li> </ul>
		Capacidad de depósito.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• M3 - TM</li> </ul>

Fuente: Anthony Claudio Vilca Arredondo, 2019.

## 3.1. Diseño de la investigación

### 3.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **Aplicada**, porque vamos a realizar el análisis geotécnico para evaluar la estabilidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021.

### 3.1.2. Nivel de la investigación

El nivel será de investigación descriptiva, porque se describe el proceso para realizar el análisis geotécnico para la estabilidad del depósito de

desmante N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro  
– año 2021.

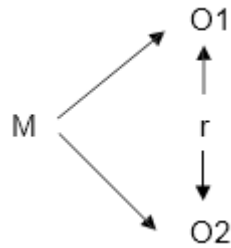
### **3.1.3. Método**

La investigación estará enfocada en el seguimiento riguroso del método científico, el cual conlleva el seguimiento ordenado de operaciones y reglas fijadas con antelación para alcanzar un resultado propuesto mediante el pensamiento lógico apoyado en bases científicas. Mario Bunge (2000), La investigación científica, nos dice que: “Un método es un procedimiento para tratar un conjunto de problemas. Cada clase de problemas requiere un conjunto de métodos o técnicas especiales. Los problemas del conocimiento, a diferencia de los del lenguaje o los de la acción, requieren la invención o la aplicación de procedimientos especiales adecuados para los varios estadios del tratamiento de los problemas, desde el mero enunciado de estos hasta el control de las soluciones propuestas”. (Pinado, 2021, p. 41).

### **3.1.4. Diseño de investigación**

Para Hernandez Sampiari, R. (2014), “mientras que un estudio cuantitativo se basa en investigaciones previas, el estudio cualitativo se fundamenta primordialmente en sí mismo. El cuantitativo se utiliza para consolidar las creencias (formuladas de manera lógica en una teoría o un esquema teórico) y establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población; y el cualitativo, para que el investigador se forme creencias propias sobre el fenómeno estudiado, como lo sería un grupo de personas únicas o un proceso particular”, por lo que para la presente investigación se tiene un estudio cuantitativo. Según (Oseda Gago, 2008) tenemos para un diseño Descriptivo:





Donde:

M : Muestra

O1 : Observación de la variable 1: Análisis geotécnico.

O2 : Observación de la variable 2: Estabilidad del depósito de  
desmonte N° 03

R : Correlación entre dichas variables. Fuente: (Oseda Gago,  
2008, citado por Pinado, 2021, p. 41).)

### 3.1.5. Población y muestra

#### **Población:**

La población estará constituida por todos los depósitos de desmonte de la unidad minera sangre de toro que son un total de 3 desmonteras.

#### **Muestra:**

La muestra estará constituida por el depósito de desmonte N° 3 de la unidad minera sangre de toro la cual se encuentra Georreferenciado con sus coordenadas centrales: Datum WGS 84 – Zona 18: 721 884 Este / 8 238 611 Norte.

### **3.1.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos y de rocas.
- Informes de resultados de ensayos de laboratorio proporcionado por la mina.
- Recopilación de datos de campo.
- Observación de la topografía del lugar.
- Fuentes bibliográficas.

### **3.1.7. Forma de Tratamiento de Datos**

- Programa slide y rock data.
- Programa Auto Cad Civil 3d.
- Forma de Análisis de las Informaciones: Interpretación de los datos de salida del programa slide sobre todo el factor de seguridad crítico en escenarios estático como Pseudoestático.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

Los botaderos son estructuras a manera de montones construidos como:

- Apilamientos directamente sobre terrenos planos.
- Pendientes muy suaves.
- Simplemente apoyados sobre taludes naturales.
- A lo largo de quebradas e inclusive a lo largo de crestas.
- Estos apilamientos pueden estar sujetos a distintos grados de deformación que pueden dar lugar a distintas formas de ruptura.
- El objetivo de este trabajo es proponer un Sistema de Clasificación Geotécnico para valorar las distintas condiciones de un botadero, optimizar su construcción, controlar la calidad de los materiales, distribuir ordenadamente los mismos y sobre todo mantener la Seguridad y Producción como los factores más importantes en su construcción del depósito de desmonte N° 03.

#### 4.2. Diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N° 3

El Proyecto de la Unidad Minera Sangre de Toro, de la empresa Minera Chaluane S.A.C. se localiza en el distrito de Andaray, Provincia de Condesuyos, Región

Arequipa, con 334 Kilómetros y un tiempo de viaje de 7 horas y 30 minutos de la ciudad de Arequipa

Figura 11. Ubicación del depósito de desmontes de mina N° 3.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

El área de estudio, Depósito de Desmonte de Mina N° 3. Se encuentra Georreferenciado: Datum WGS 84 – Zona 18:

- 721 884 Este.
- 8 238 611 Norte.

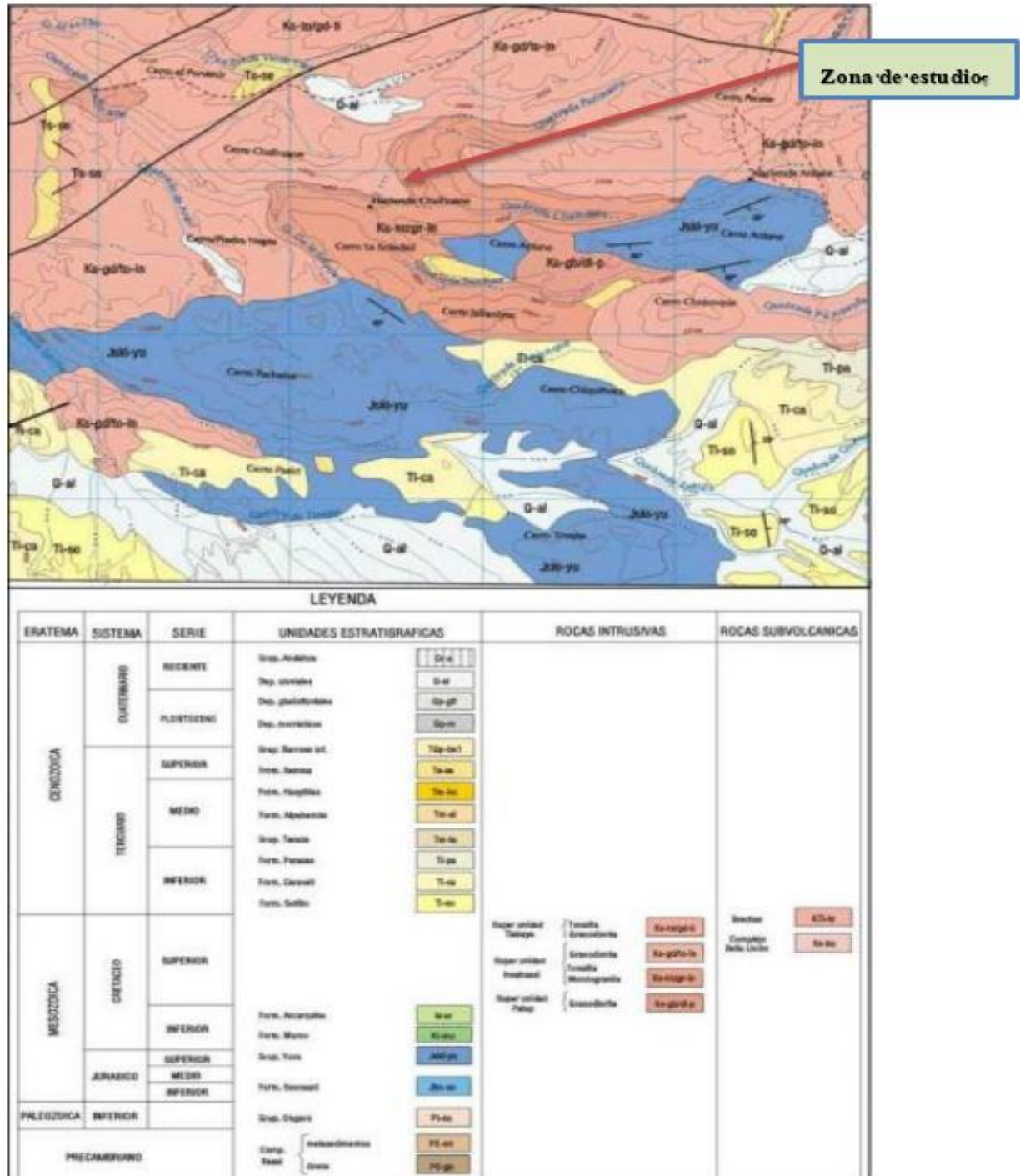
#### 4.2.1. Geología

**Rocas plutónicas.** - El Batolito de la Costa ha sido dividido en cinco grandes segmentos que son: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala. Cada uno de estos segmentos, tanto en su estructura como en su composición mineralógica y constituye un gran complejo conformado por centenares de plutones individuales. La columna estratigráfica está representada únicamente por los afloramientos pertenecientes al Batolito de la Costa, que en el área evaluada está representada por el Cuadrángulo de Chuquibamba y

Cotahuasi perteneciente al Cretáceo inferior hasta el cuaternario reciente.

(Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 1).

Figura 12. Geología Local.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

#### 4.2.2. Geología estructural

Estructuralmente en la zona evaluada no se evidencia escarpas, desplazamientos, rasgaduras y/o brechamiento propio de fallas, sin embargo, en esta ocasión se destaca la presencia de la falla Consuelo la cual tiene una dirección SE y llega hasta la zona central de la operación. Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 2).

#### 4.2.3. Geomorfología

La operación de explotación de Minera Chalhuane se encuentra emplazada sobre la cordillera occidental de los andes peruanos. El desarrollo geomorfológico de esta unidad nos muestra geoformas suaves a moderadas en su mayor área y agreste en los valles, corresponde a diferentes unidades litológicas, de naturaleza intrusiva, sedimentaria y volcánica; forma parte de la Cordillera de los Andes y se extiende por el cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi, y con alturas que van desde los 2,600 hasta los 3,800 m.s.n.m. Está conformada por cadenas de cerros que se alinean con una dirección NO-SE. Dentro de esta unidad, El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario y en los procesos tectónicos que han ocasionado el alzamiento y hundimiento de bloques. La denudación fluvial probablemente Pre-Barroso, así como la actividad volcánica del Cuaternario ha controlado la morfología actual, esto ha permitido diferenciar seis unidades geomorfológicas que son: Casquete de Nieves Perpetuas, Conos Volcánicos, Altiplanicie, Superficie Huaylillas, Laderas disectadas y Valles. (Área de Ingeniería y proyectos, 2018, p. 2).

#### 4.2.4. Geotecnia

Para determinar los parámetros geotécnicos, hemos procedido a realizar el cartografiado geomecánico en el depósito de desmonte N° 3, de la zona Chalhuane.

Tabla 4. Valoración del macizo rocoso RMR.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)													
PARAMETRO		RANGO DE VALORES VALOR ESTIMADO							Valoración.				
					X								
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)		>250 (15)		100-250 (12)	X	50-100 (7)		25-50 (4)		<25(2) <5(1) <1(0)	1	7	
RQD %		90-100 (20)		75-90 (17)		50-75 (13)		25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3	
ESPACIAMIENTO (m)		>2 (20)		0,6-2 (15)		0.2-0.6 (10)	X	0.06-0.2 (8)		< 0.06 (5)	3	8	
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	X	1-3 m Long. (4)		3-10m (2)		10-20 m (1)		> 20 m (0)	4A	4	
	ABERTURA	Cerrada (6)		<0.1mm apert. (5)		0.1-1.0mm (4)	X	1 - 5 mm (1)		> 5 mm (0)	4B	1	
	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)		Rugosa (5)		Lig.rugosa (3)	X	Lisa (1)		Espejo de falla (0)	4C	1	
	RELLENO	Limpia (6)	X	Duro < 5mm (4)		Duro > 5mm (2)		Suave < 5 mm (1)		Suave > 5 mm. (0)	4D	4	
	ALTERACION	Sana (6)		Lig. Alterada. (5)		Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)		Descompuesta (0)	4E	2	
AGUA SUBTERRANEA		X	Seco (15)		Humedo (10)		Mojado (7)		Goteo (4)		Flujo (0)	5	15
ORIENTACION DISCON			Muy Favor. (0)	X	Favorable (- 2)		Regular (-5)		Desfavorable (- 10)		Muy Desfava. (- 12)		-2
VALOR TOTAL RMR (suma de valoración de 1 al 5) CLASE DE MACIZO ROCOSO											43		
RMR		100 - 81		80 - 61		60 - 41		40 - 21		20 - 0		III - B	
DESCRIPCION		I MUY BUENA		II BUENA		III REGULAR		IV MALA		V MUY MALA			

Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.





#### 4.2.5. Análisis de Estabilidad

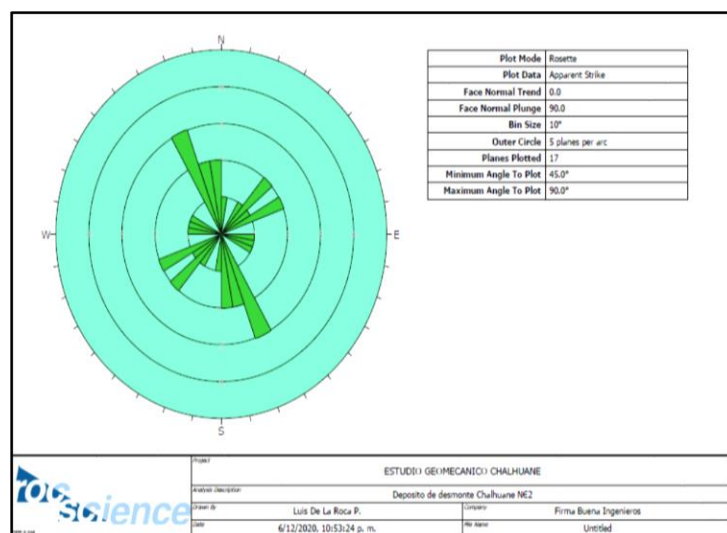
Para ello se estableció una estación geomecánica en el depósito de desmontes Chaluane N°3 y se realizó el siguiente procedimiento:

Figura 13. Estación Geomecánica.



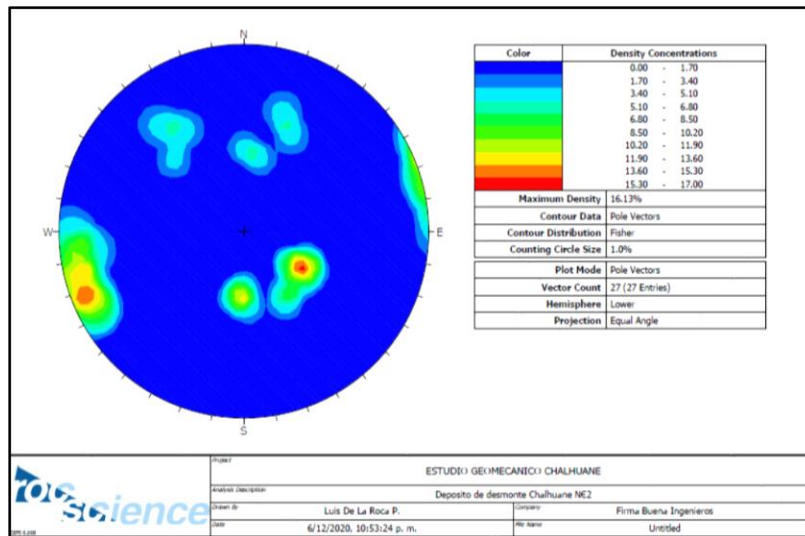
Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

Figura 14. Diagrama de Rosetas



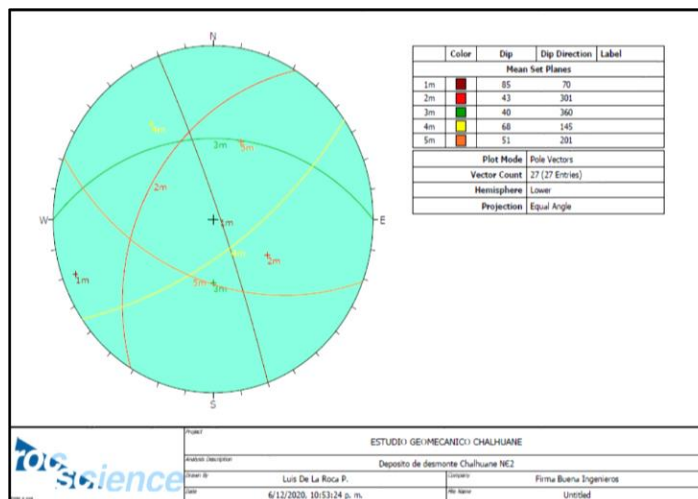
Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

Figura 15. Contorno de polos.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

Figura 16. Modo de falla: Planar.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

**Interpretación:**

- **Vista fotográfica.** - Parte del afloramiento de la evaluación geomecánica levantada, litológicamente representada por roca granodiorita. Se observa claramente el espaciamiento y persistencia de las discontinuidades.

- **Diagrama de rosetas.** - De acuerdo al diagrama hay 5 orientaciones en las cuales podría encontrarse la dirección de la posible falla. Siendo NW-SE la orientación principal.
- **Contorno de polos.** - La densidad de polos indica que ambas zonas se encuentran concentradas, siendo la mayor concentración en el sector sur.
- **Modo de falla.** - De acuerdo a la salida para “familias principales” se observa claramente cinco concentraciones de polos y sus correspondientes planos de fallas, con las posibles orientaciones del plano de falla tipo planar, el arreglo estructural de la masa rocosa de la zona de evaluación, en general está conformado por dos sistemas principales de discontinuidades (Sistemas 1 y 2) y 4 sistemas secundarios, siendo los de mayor concentración (Sistemas 3 y 4).

#### 4.3. Estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte

La geología local, está comprendida principalmente por roca intrusiva granodiorita a lo largo de toda la operación, sin embargo, se encuentran también en la zona cuerpos ígneos del tipo tonalita. Adicionalmente, en la zona noreste de la operación, existen rocas pertenecientes a la Formación Sencca la cual está conformada por un conjunto de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica, además de tufos riolíticos con biotita, las rocas que conforman esta formación son esencialmente piroclásticas compuestas por tobas dacíticas y riocacitas cuyo color predominante es el gris. En esta ocasión se destaca la presencia de la falla Consuelo la cual tiene una dirección SE y llega hasta la zona central de la operación.

- Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero han jugado un rol importante en la conformación del ambiente estructural receptor de la mineralización.
- Respecto al yacimiento, este corresponde a un yacimiento aurífero, mesotermal, filoneano, relacionado con la mineralización aurífera en rocas intrusivas de las Superunidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca- Ocoña que alberga innumerables minas y depósitos en vetas angostas como Arirahua, San Juan de Chorunga, Chalhuane, Las Clavelinas, María Eugenia, entre otros.
- Las vetas se alinean a lo largo de una franja de 5 Km. En dirección N70°E, entre la veta Encarna (NV 2500) y la veta Esperanza (NV 1790). Sin embargo, la mineralización se extiende unos 3Km más en dirección NE, tramo en el que las vetas son más angostas, poco exploradas y escasamente explotadas. Individualmente, las vetas presentan afloramientos de varios de cientos de metros, entre las que destacan Esperanza (600m), Consuelo (500m), Encarna (500m), Niño Jesús (800m), El Rey (450m) y la Reina (800m).
- La mineralización es errática y se presenta en columnas de riqueza discontinuas de pocas decenas de metros hasta más de 200m. En la zona de oxidación, que tiene entre 100 y 250m de profundidad, el relleno está constituido mayormente de cuarzo, hematita, limonita y jarosita,
- mientras que en la zona primaria se presenta cuarzo y pirita con calcopirita-galena-esfalerita subordinados, habiéndose podido comprobar que existe más de una época de mineralización.

### Pre Cámbrico:

- **Complejo Basal de la Costa.** - El Complejo Basal está constituido por una gruesa secuencia de rocas metamórficas en la que destacan, los gneises, anfibolitas y metasedimentos. En muchos lugares se han separado los gneises de los metasedimentos; pero no se observa un contacto bien marcado en otros es difícil una separación. La mayor parte de los gneises presentan estructuras lenticulares. Estas rocas y bandas irregulares han sido cortadas por numerosos diques y pequeñas intrusiones compuestas por tonalita, granodiorita, granito y pegmatitas. Antes de llegar a Huaranguitoyoc, el complejo está cortado de tonalita de color claro y de grano medio.

### Plioceno:

- **Volcánico Sencca.** - En la zona se hacen presentes las rocas volcánicas, representadas por el Volcánico Sencca, presentándose en forma de pequeños afloramientos aislados, cubriendo directamente las rocas del Batolito de la Costa. Es de edad Terciario Superior, (Plioceno), fue estudiado por Salvador Mendivil en 1965, quien le asigna ese nombre; son rocas volcánicas de naturaleza tufácea. Este volcánico se expone en el Cerro Chiuca, Cerro Apacheta cubriendo en parte las rocas del complejo Ígneo. Litológicamente está constituido por tufos de composición dacítica o riolítica, de color gris claro y rojizo, poseen textura homogénea con una cohesión apreciable, macroscópicamente se han determinado los siguientes minerales:
  - Feldespato potásico
  - Plagioclasas

- Cuarzo
- Vidrio Volcánico
- Biotita.

Además, contienen fragmentos de pómez, escoria y lavas que pueden ser redondeadas, subredondeadas y angulosos y de tamaño variable. Su mejor exposición se observa hacia el N-E de la Bocamina de Cerro Rico y al N-W de la intersección de la quebrada Chifle y de la quebrada de Sesirne, el espesor es variable, va desde pocos metros hasta 50 m. Los volcánicos de la zona de estudio por su similitud litológica y posición estratigráfica con los que afloran en Ocoña (Mendivil y Castillo), en la Mina de Posco (Quintanilla - Hoover Del Carpio), y por los estudios de Jenks en 1948 en el área de Arequipa, se les asigna una edad Plioceno Superior (Terciario Superior). La distribución es amplia en los cuadrángulos de la Yesera, Ocoña, Arequipa, etc.

- **Volcánico Barroso.** - La denominación de Formación Barroso fue dada por Wilson y García (1962), a un conjunto volcánico estudiado en el cuadrángulo de Palca; posteriormente S. Mendivil (1965) lo considera como Grupo y lo describe como una serie de derrames piroclásticos cuyos afloramientos se presentan conformando conos, cúpulas irregulares y bancos de posición horizontal con suaves inclinaciones. Estos se encuentran en Discordancia Erosional sobre el volcánico Sencca y se caracteriza por presentar una litología formado por lavas andesíticas de color verdoso y textura porfídica, riolitas de color marrón textura microcristalina y de ignimbritas de color marrón claro. Unidades similares se encuentran en los cuadrángulos de

Moquegua, Tarata y se le ha dado una edad Plio-pleistocénica (Wilson y García 1962).

- **Intrusivo Eva Hilda.** - En la zona de estudio esta unidad litológica es de mayor importancia y predominio, se observa rocas granodioríticas, a estas rocas se le considera como rocas integrantes del Batolito Costanero Peruano y se le asigna una edad Cretáceo Superior a Terciario Inferior, según Steiman 1930 y Jenks 1948. De modo general las podemos considerar a estas rocas faneríticas, ya que a simple vista podemos apreciar la mayoría de sus minerales. Asimismo, se observa el dique de composición andesítica, que presenta una textura afanítica formando un complejo granodiorita-andesítica. Se tiene Stocks y Apófisis de granito rojo y diorita gnéisica del Paleozoico Inferior, expuestas en Atico, Ocoña y Camaná. Los afloramientos de estos plutones son en forma paralela a la línea de costa, atravesados por un sistema de fracturamiento variable en rumbo y buzamiento, en general se presentan de color gris parduzco. Los diques andesíticos que se encuentran intrusionando a la diorita- granodiorita, son de grano fino (afanítico) a veces porfirítico, presentando potencias variables; están relacionadas a la mineralización.
- **Granodiorita.** - Esta unidad petrográfica es la de mayor volumen del Batolito de la costa, regionalmente y es la roca más predominante en los afloramientos. La granodiorita, granito y Tonalita, forman el grupo de las rocas silíceas (ácidas) caracterizadas por presencia de cuarzo, en exceso del 10%, con feldespato alcalino, plagioclasa sódica. Los afloramientos se exponen en los cerros adyacentes presentan fuerte fracturamiento, bloques de variados

tamaños, zonas con fuerte alteración, ya sea químico o por cambios de temperatura (físico). Esta roca plutónica se encuentra como roca encajonante de las vetas auríferas, en tal sentido ha sufrido un proceso de alteración propilítica, producida por soluciones deutéricas calientes e hidratadas, que acompañaron el emplazamiento de los diques andesíticos. La edad del intrusivo en la zona de estudio, no ha sido precisado con exactitud, son catalogadas como rocas del Cretáceo Superior y no han afectado a los sedimentos del Grupo Moquegua, del Terciario Medio, por lo tanto, se le asigna una edad Cretáceo Superior- Terciario Inferior. Las determinaciones de edades radiométricas por el método K-Ar de muestras del Batolito de la Costa, varía de 60-110 millones de años, edad correspondiente al intervalo antes mencionado.

- **Andesita.** - La presencia de andesita en esta zona está constituida en su mayoría formando rocas Hipohabisaes con génesis de asimilaciones magmáticas en cámaras de poca profundidad (ver Figura N°6). Estas rocas presentan diferentes grados de alteración y se les considera del Terciario Medio-Inferior ya que son más recientes que los plutones que corta. Estas rocas Hipohabisaes se distribuyen en menor cantidad en diques con dirección notoria N-W predominando la dirección E-W con inclinación N-E o S-W. Muchos de estos diques están asociados a estructuras mineralizadas de oro, en cuyo caso la, andesita se ubica como caja de tales vetas; esta roca ha sufrido una alteración hidrotermal, ocasionando una propilitización y en menor escala silicificación. La roca es característica por su color gris verdoso claro, textura afanítica, fuerte fracturamiento y presencia de alteración propilítica, la cual se manifiesta en el color verde opaco, que presenta la



andesita propilitizada. La edad de estos diques no ha sido concretada con suficientes pruebas; podría ser posteriores al intrusivo granodiorítico, puesto que se encuentran cortando tales rocas y han sido afectadas por la erosión que dio el relieve de erosión sobre la cual se depositaron las capas inferiores del grupo Moquegua del Terciario Superior (Fuera del área de estudio) por lo expuesto se le asigna una edad del Terciario Inferior.

Figura 17. Rocas Hipoabisales (Quebrada Chalhuane).



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

#### 4.3.1. Depósitos Aluviales y Eluviales

- **Depósitos Clásticos Recientes.** - Están representados por depósitos aluviales, coluviales, eluviales; que están compuestos por un conjunto heterogéneo de rocas inconsolidadas, compuestas por arcillas, arenas, limos, cenizas, conglomerados y gravas en matriz arenosa y detritos de rocas adyacentes, cuyo espesor va de unos centímetros hasta 3 m. de diámetro

- **Depósitos Aluviales.** - La deposición del material aluvial se efectuó en la quebrada Alpacay, en la cual está formado por guijarros subredondeados, de diferentes tamaños y en menor proporción por arenas gruesas, finas y limo. La mayor parte de los clastos son de composición Ígnea y en menor proporción por cuarcitas y pizarras; su mayor tamaño es de 3 m. La potencia de estos depósitos se puede estimar en unos 15 m.
- **Depósitos Eluviales.** - Los depósitos eluviales se componen de material rocoso arrancado de las rocas intrusivas que bordean las quebradas angostas, para luego depositarse en sus fondos, fácilmente erosionables.
- **Depósitos Coluviales.** - Se hallan en las partes altas del Cerro Tiquimbro, producto de la meteorización in-situ, además de los cambios bruscos de temperatura que se producen en la zona.

#### 4.3.2. Geomorfología Regional

La zona de estudio se encuentra emplazada sobre la cordillera occidental de los andes peruanos. A continuación, resumimos las características importantes:

- **Unidades geomorfológicas.** - El desarrollo geomorfológico nos muestra geoformas suaves a moderadas en su mayor área y agreste en los valles. El modelado es el resultado de la influencia decisiva de los procesos volcánicos sucedidos casi durante todo el Terciario y en los procesos tectónicos que han ocasionado el alzamiento y hundimiento

de bloques. La denudación fluvial probablemente Pre-Barroso, así como la actividad volcánica del Cuaternario ha controlado la morfología actual, esto ha permitido diferenciar seis unidades geomorfológicas que son: Casquete de Nieves Perpetuas, Conos Volcánicos, Altiplanicie, Superficie Huaylillas, Laderas disectadas y Valles.

- **Casquete de Nieves Perpetuas.** - En el área que abarca este informe, se nota claramente 3 zonas con nieves perpetuas que corresponden a los Volcanes-Nevados Firura, Solimana y Coropuna, con altitudes de 5,498 6,093 y 6,377 m.s.n.m. respectivamente, siendo este último, el que ocupa mayor extensión. En los últimos años, se ha evidenciado retroceso glacial en distintas y apartadas áreas del planeta, la presencia de estos glaciares es relativa y está sujeta a condiciones climatológicas. En esta zona, los glaciares se encuentran por encima de los 5,000 m.s.n.m. El control principal de la existencia de los casquetes de nieves es la altitud. Estos nevados son un ejemplo de la relatividad de las condiciones en que se desarrollan los glaciares en el Perú.
- **Conos Volcánicos.** - En las partes más altas entre Chuquibamba y Cotahuasi se tiene tres conos volcánicos formando un triángulo: regionalmente presentan dirección andina que gira hacia el Este-Oeste por lo que S. Mendivil (1965), la denominó Arco Volcánico del Barroso. Estos conos volcánicos han jugado un papel importante en el desarrollo geomorfológico de la zona, litológicamente consta de rocas

volcánicas. Las formas cónicas fueron modificadas por glaciares que descendieron de los casquetes glaciares en forma radial, la morfología es agreste y empinada en la parte central y radialmente disminuye la pendiente.

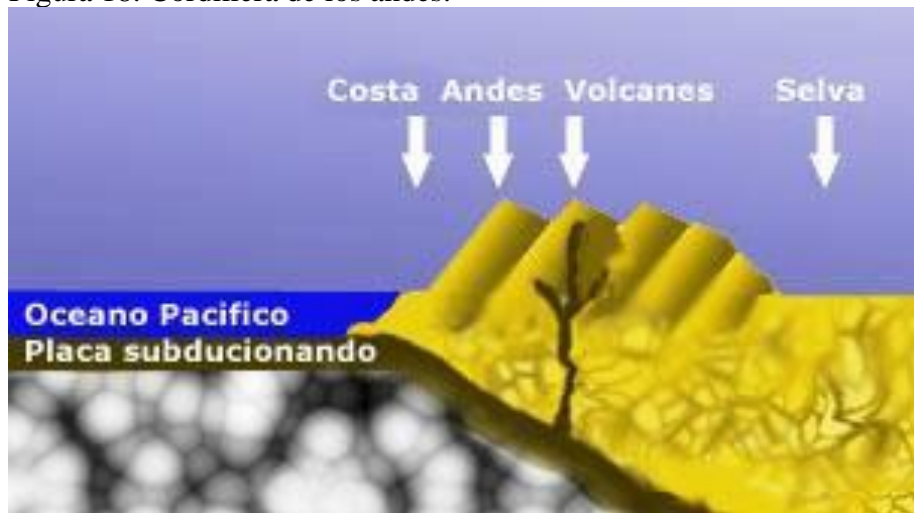
- **Altiplanicie.** - Las elevaciones varían entre 4,000 y 4,900 m.s.n.m. la topografía es moderada, localmente se tienen escarpas controladas por fallas. También existen pequeños conos volcánicos, así como morrenas y abundantes bofedales; esta unidad geomorfológica se caracteriza por una planicie bien definida y algunos valles glaciares de extensión local.
- **Superficie Huaylillas.** - Esta unidad geomorfológica es continuación de geoforma de amplitud regional y es reconocida en los cuadrángulos de Chala (Olchauski, 1980), y de Ocoña (Mendivil y Castillo, 1960) quienes la denominan Meseta Costanera y que es la continuación hacia el Norte de la unidad llamada Penillanura Costanera en los cuadrángulos de Camaná y la Yesera (Pecho V. y Morales G., 1969). En Aplao, Guizado (1968) la describe como Planicie Costanera que ingresa al Sur del cuadrángulo de Chuquibamba. En Chala las altitudes varían entre 1,700 a 2,000 m.s.n.m.; en Ocoña, entre 1,200 y 2,400; en Chuquibamba, siguiendo la prolongación del cuadrángulo de La Yesera, la altura de la superficie Huaylillas va desde los 2,600 hasta los 3,800 m.s.n.m. y constituye una prolongación de las pampas de Cuno Cuno. La superficie es sub horizontal con inclinación sur occidental y de aspecto cónico que tiende a desaparecer por la

formación del valle de Ocoña. Está disectada por quebradas con dirección E-O, a diferencia de la parte Oriental donde las quebradas tienen dirección N-S. Numerosas pampas forman esta unidad, entre ellas tenemos Pampa Azafrán, Pampa los Morillos, etc.

- **Laderas disectadas.** - Esta unidad está constituida por cadenas de cerros que se alinean con una dirección NO-SE y en ella se hallan comprendidos los valles amplios de Chuquibamba y Pampacolca, que se han desarrollado en fallas regionales. Estas laderas presentan drenaje subparalelos, que al disectar la peneplanicie costanera, dan lugar a valles amplios como los ya mencionados presentando una topografía de quebradas y elevaciones semiparalelas que fueron modeladas por las diferentes etapas de erosión sobre rocas intrusivas Cretácico-Terciarias y rocas Precambrianas. Al Oeste de la hoja de Chuquibamba, se caracteriza por presentar drenaje dendrítico, resultante de las quebradas menores que confluyen en el río Ocoña. Se denota una topografía moderada que es disectada por quebradas de magnitud considerable como la quebrada Chaluane y por el valle del río Churunga que sigue una dirección NE- SO.
- **Estibaciones Andinas.** - Los Andes son la cadena montañosa más larga a nivel mundial, en dónde se encuentran montañas y picos volcánicos (los más altos de todo el mundo). La montaña más alta de esta cadena está en Chile, es el Aconcagua, a una altura de 6.960 msnm. Es también la montaña más alta del hemisferio occidental. Los Andes son un sistema geológicamente joven, que ha sido creado por

la placa del Pacífico. Estas regiones aparecieron inicialmente en el período del cretáceo y terciario. En la figura N° 05 observamos como las colisiones de las placas Nazca y Sudamericana han originado la cordillera de los Andes.

Figura 18. Cordillera de los andes.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

- **Valles Subandinos.** - Existen tres tipos de valles principales:
  - Valles de los ríos Cotahuasi y Arma,
  - Valle del río Churunga y quebradas aledañas y
  - Valles de los ríos Chuquibamba, Pampacolca y Viraco.

El primer tipo forma parte de la naciente del río Ocoña, cortan las altiplanicies andinas y tienen dirección E-O a NE-SO. El valle de Cotahuasi tiene su origen en valles colgantes antiguos en forma de “U”, con restos volcánicos pleistocénicos y que luego fueron cortados por la erosión posterior; esto se puede ver al este de Figura y en el río Sumana. Estos valles muestran una serie de pequeñas terrazas que están distintamente distribuidas y están en función de las

irregularidades del curso del río las condiciones geológicas. En valle de Cotahuasi a lo largo de su extensión, presenta cambios siendo estrecho en su cauce desde la desembocadura al río Ocoña, yendo aguas arriba hasta las proximidades el pueblo de Cotahuasi, se nota un valle en “V” y a partir de esta zona hasta la localidad de Alca, se observa al valle con presencia de terrazas fluviales, donde pobladores del lugar desarrollan sus labores agrícolas. El valle del río Larjo, cuya dirección es de N a S, se presenta encañonado siendo sus pendientes empinadas sin depósitos fluviales de consideración. El segundo tipo son los valles del río Churunga y quebradas aledañas que drenan hacia el Oeste y son afluentes del río Ocoña, se caracterizan por su escasa pendiente del talweg y su clima desértico. Se determina un control principal estructural ya que muestran cambios de dirección de NE a E-O, debido a que a partir al cambio de dirección siguen fallas y/o fracturas de dirección similar. El tercer tipo son los valles de los ríos Chuquibamba y Pampacolca-Viraco forman parte de afluentes del río Majes, tienen dirección SE y están controlados por fallas de dirección NO. En su nacimiento, el valle de Chuquibamba está representado por el área de deslizamiento de pendientes suaves y en la parte inferior profundiza su cauce dando lugar a una topografía abrupta. En la zona de estudio se consideran los siguientes valles:

- **Valle del Río Churunga y quebradas aledañas.** - Quebradas que drenan hacia el Oeste y son afluentes del río Ocoña caracterizándose por su escasa pendiente y clima desértico. Se determina su control principal estructural ya que muestra cambios de dirección de NE – EO

debido a que a partir del cambio de dirección siguen fallas y/o fracturas de dirección similar.

- **Valles de los Ríos Chuquibamba.** - Forman parte de los afluentes del río Majes, tienen dirección SE y están controlados por fallas de dirección NO.
- **Quebradas.** - Quebradas que drenan hacia el Oeste y son afluentes del río Ocoña caracterizándose por su escasa pendiente y clima desértico. Se determina su control principal estructural ya que muestra cambios de dirección de NE – EO debido a que a partir del cambio de dirección siguen fallas y/o fracturas de dirección similar.
- **Quebrada Chaluane.** - La quebrada Chaluane conforma un valle encañonado controlado por la geología de los grandes cuerpos intrusivos que dan lugar a este tipo de valle. El flujo de agua observado durante la visita al proyecto (mes de septiembre) es bajo y en alguna zona nulo ya que la trayectoria de aguas pasa a un nivel subterráneo reapareciendo.



Figura 19. Quebrada Chaluane.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

- **Quebrada San José.** - La quebrada San José conforma un valle de tipo encañonado, conforma junto a la quebrada Chaluane y Purimarca ubicadas en la zona de estudio quebradas tributarias del río. El caudal de esta quebrada al igual que las antes mencionadas es controlado por el tiempo de sequía y tiempo de lluvias correspondientemente. En sus cauces se observan materiales de gran tamaño correspondientes a cantos rodados, fragmentos angulosos, arena de grano algunos de largo transporte por el agua y otros conformando materiales desprendidos de las rocas fracturadas en las zonas altas que se encuentran cerca de las quebradas.

Figura 20. Quebrada San José.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

#### 4.3.3. Geomorfología Local

- **Procesos de erosión y modelado del relieve.** - Durante el tiempo geológico se ha producido un modelado y erosión por agentes externos como lluvias, vientos y acción de los rayos solares originando de esta manera una serie de quebradas de diferentes tamaños y longitudes el mismo que va a depender del tipo de roca.
- **Colinas.** - Las colinas son estructuras positivas que indican el grado de resistencia de las rocas a la meteorización e intemperismo. Estas colinas se encuentran presente en la zona de estudio.
- **Cauces Fluviales.** - Los cauces fluviales son conductos por donde discurren los flujos de agua en época de avenidas y está compuesto de bloques de roca sub angulosos, bolonería y escasas gravas.

- **Sistemas de drenaje.** - El drenaje característico de la zona es el denominado dentrítico caracterizado por ser similar a un árbol ramificado. Este patrón de drenaje se origina con predilección en macizos rocosos de litología Batolítica.

#### 4.3.4. Sismicidad Histórica

Aunque se tiene referencias históricas del impacto de terremotos durante el Imperio de los Incas, la información se remonta a la época de la conquista. En la descripción de los sismos se han utilizado como documentos básicos los trabajos de Silgado (1968).

- **Entre los años de 1471 - 1490.** - Gran terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, fue la época del Inca Túpac Yupanqui, en la cual perecieron todos sus habitantes y hubo la erupción del volcán Misti, alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli.
- **Entre los años de 1513 - 1515.** - Grandes sismos acompañados de formidables deslizamientos de tierra de algunos cerros altos, en la costa el mar sobrepasó muchas veces la línea de playa.
- **En Arequipa alcanzó intensidades de VIII en la Escala Modificada de Mercalli. 08 de Enero de 1725.** - A las 08:00 horas, fuerte temblor remeció la ciudad de Arequipa destruyendo la mayor parte de sus viviendas, este movimiento sísmico tuvo una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli, como consecuencia del sismo se levantó una gran polvareda que cubrió la ciudad.

- **27 de Marzo de 1725.** - Gran sismo que se sintió en toda la costa sur del Perú, llegándose a sentir hasta el Callao, el pueblo de Camaná fue el que sufrió grandes daños, el mar salió sobrepasándose la línea de playa.
- **13 de Mayo de 1784.** - A las 07:35. Terremoto que arruinó la ciudad de Arequipa, ocasionando graves daños en sus templos, murieron 54 personas, 500 heridos, tuvo una magnitud de 8.4, en Arequipa alcanzó una intensidad de VII en la Escala Modificada de Mercalli.
- **04 de Mayo de 1906.** - A las 19:36. Fuerte temblor en Mollendo, en la ciudad de Tacna ocasionó derrumbes de casas y paredes cuarteadas. Se sintió fuertemente en la ciudad de Arica y aún en Iquique.
- **18 de Setiembre de 1833.** - A las 05:45 violento movimiento sísmico que ocasionó la destrucción de Tacna y grandes daños en Moquegua, Arequipa, Sama, Arica, Torata, Locumba e Ilabaya, murieron 18 personas; fue sentido en La Paz y Cochabamba, en Bolivia.
- **28 de Julio de 1913.** - A las 01:40. Este movimiento sísmico afectó gran parte de la costa sur situada entre Chala y Mollendo, causando roturas de tres cables submarinos frente a la costa, lo que se atribuyó a un deslizamiento del talud submarino. La posición geográfica del epicentro fue de  $-17^{\circ}$  Lat. S. y  $-74^{\circ}$  Long. W, y alcanzó una magnitud de 7.0.
- **09 de Marzo de 1960.** - A las 18:54, se produjo una violenta réplica del terremoto del 13 de enero, en la ciudad de Arequipa se cayeron las

cornisas removidas, este sismo fue, sentido en Puno, en los Puertos de Matarani y Mejia tuvo una Intensidad de V en la Escala Modificada de Mercalli, en la ciudad de Arequipa se sintió con una magnitud de 6.0 y una intensidad de grado VIII; el epicentro se ubicó a  $-16^{\circ}$  Lat. S. y  $72^{\circ}$  Long. W.

- **26 de Enero de 1964.** - A las 04:00 se produjo un sismo en el sur del Perú, en Arequipa como producto del violento movimiento se registró cuatro heridos, y daños en las viviendas que ya se encontraban remecidas por anteriores sismos, este sismo tuvo una intensidad de VI en la Escala Modificada de Mercalli en la ciudad de Arequipa, en Mollendo y Ubinas alcanzó una intensidad de V.
- **16 de Febrero de 1979.** - A las 05:08:53. Fuerte terremoto en el departamento de Arequipa, que ocasionó algunas muertes y muchos heridos. Este sismo produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes. Alcanzó una intensidad máxima del grado VII en la Escala Internacional de Intensidad Sísmica M.S.K. En la ciudad de Arequipa el sismo fue del grado VI habiendo afectado seriamente algunas viviendas de sillar. Además, ocasionó graves daños en edificios relativamente modernos como el Hospital Regional "N° 2" (Ex-empleado) Programa Académico de Arquitectura y el pabellón Nicholson, ubicados estos 2 últimos en los Campus de la Universidad de San Agustín. La posición geográfica del epicentro es localizada en las siguientes coordenadas:  $-16.515^{\circ}$  latitud

S. y  $-72.599^{\circ}$  longitud W. La profundidad focal se estima en 52.5 Km., y la magnitud de 6.2.

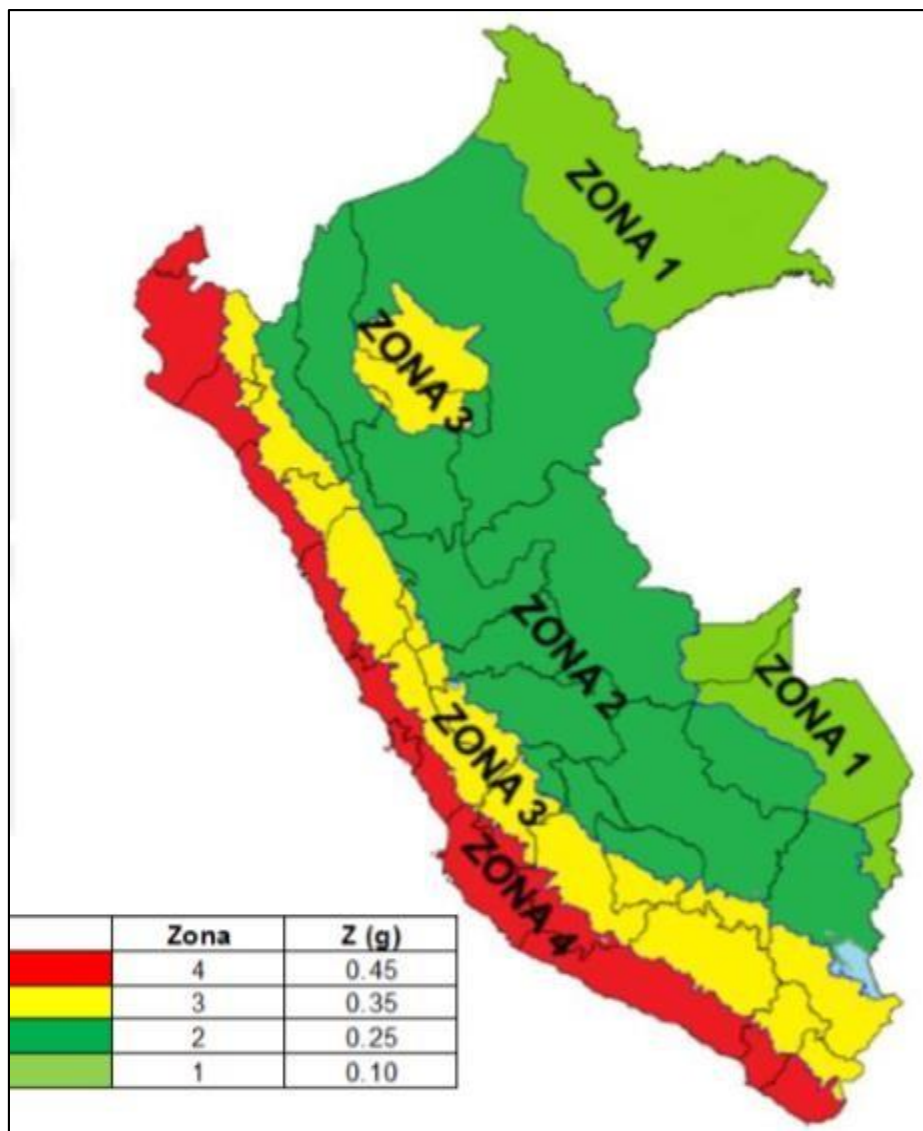
- **23 de Junio de 2001.** - A las 15 horas 33 minutos, terremoto destructor que afectó el Sur del Perú, particularmente los Departamentos de Moquegua, Tacna y Arequipa. Este sismo tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia. El terremoto ha originado varios miles de post-sacudidas o réplicas. Las localidades más afectadas por el terremoto fueron las ciudades de Moquegua, Tacna, Arequipa, Valle de Tambo, Caravelí, Chuquibamba, algunos pueblos del interior y Camaná por el efecto del Tsunami. El Sistema de Defensa Civil y medios de comunicación han informado la muerte de 35 personas en los departamentos antes mencionados, así como desaparecidos y miles de edificaciones destruidas.

#### 4.3.5. Sismos

Los sismos que se dan en la zona de estudio y generalmente son originados por la interacción de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, por lo que se les denomina de origen tectónico, siendo estos los de mayor importancia debido a que liberan mayor energía que otros sismos. Si su origen se da a una profundidad no mayor a 70 Km. (sismos superficiales), éstos son más violentos; también se producen sismos que estarían relacionados a fallas existentes. En la norma peruana E030 para el diseño sismo resistente se describe cuatro (04) zonas con valores de Z que oscilan entre (0.10 - 0.45) g, donde “g” es la aceleración de la gravedad. Según el Reglamento Nacional de

Edificaciones. Como se aprecia en la Figura 21. Dentro de la zonificación sísmica del Perú la ciudad de Chuquibamba se encuentra ubicada en la zona 3, considerada de mediana sismicidad. La aceleración sísmica se encuentra en el rango de 4.5 m/seg. En cuanto a la intensidad sísmica, se encuentra en el rango VII. Con referencia a la magnitud sísmica, se encuentra en la zona F8 con una magnitud mínima de 4.9 y máxima de 7.0 Mb a una profundidad de 65km, presentando una zona de alta sismicidad.

Figura 21. Mapa de Zonas Sísmicas.



Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

- **Periodo de retorno.** - Un sismo con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años, tiene 475 años de periodo de retorno: en efecto, al utilizar la primera fórmula, con  $p=0.1$  y  $n=50$ , se obtiene  $T=475$ . El sismo así definido, es el que se utiliza en el Euro código. En segundo lugar, con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 100 años, al introducir los valores  $p=0.1$  y  $n=100$ , se obtiene  $T=950$ . Ese es el evento utilizado como sismo de Estado Límite Último en proyectos en California. Similarmente, para un sismo que tiene una probabilidad de ocurrencia del 10% en 10 años, el período de retorno es de 95 años. El sismo así definido es el que se utiliza a veces para determinar la acción sísmica a considerar durante la construcción de puentes de gran importancia.
- **Geodinámica Externa.** - Asociado a la presencia de lluvias, humedad de la zona y pendiente de los cerros circundantes, el mismo que ocasiona los siguientes peligros:
- **Lluvias.** - De igual manera el flujo e incremento del caudal ocasiona la erosión y socavación de los cauces originando cárcavas y surcos profundos.
- **Deslizamientos.** - Los deslizamientos se considera a algunas de las formas de remoción en masa, en las que volúmenes de material intemperizado (suelo) y/o bloques y masas de roca fresca se desprenden y se desplazan cuesta abajo como una sola unidad sobre un plano inclinado o sobre una superficie cóncava.



- **Activamiento de Quebradas.** - Cuando las lluvias son torrenciales la cuenca se satura originando el aumento de los caudales donde los ríos y quebradas se activan formando torrentes de agua y en algunos casos impide el paso de vehículos.
- **Vulcanismo.** - Las erupciones volcánicas constituyen un peligro para la humanidad. La zona sur del Perú constituye una zona de importante dentro de la actividad volcánica por la presencia de volcanes a activos como el Misti, el Coropuna entre otros los cuales constituyen un peligro a nivel regional. No se descarta un reactivamiento repentino de una actividad volcánica por la presión que ejerce el magma en forma permanente sobre la corteza terrestre.
- **Geología Estructural.** - En esta parte del continente, se han sucedido eventos tectónicos a través de toda la historia geológica, evidenciándose claramente en el territorio peruano, la relación morfológica con el desarrollo tectónico. En los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, las estructuras guardan estrecha relación con los movimientos tectónicos de los ciclos Precámbrico y Andino.
- **Sistema de Fracturamiento.** - Los sistemas de fracturamiento están representados como zonas poco deformadas (meteorizadas) y en su mayoría afectadas por agentes erosivos. Esta zona en su mayor parte corresponde a rocas volcánicas y continentales post- mesozoicas, cuyas edades van desde el Terciario inferior al Cuaternario. Con posterioridad a la fase peruana, sobrevino un intenso período de erosión de las rocas pre-existentes que dieron lugar a sedimentos

continentales de la Fm. Sotillo que se depositaron al Sur, sobre una superficie aproximadamente sub-horizontal. El levantamiento continuo de bloques dio lugar a una fase de plegamiento de menor intensidad que se habría originado en el Eoceno superior (Fase Incaica de Steinmann) con la consiguiente denudación, dando lugar a los depósitos de las Formaciones Caravelí, Paracas, distribuidas al Sur del área. Estos depósitos continentales tectónicamente tienen poca deformación.

- **El Grupo Tacaza.** - muestra una secuencia de rocas volcánicas que son afectadas por la fase Quechua II, originando estructuras poco notables resultantes de esfuerzos compresivos que dieron lugar a un suave ondulamiento con algunas fallas de dirección N-S, que se observan en el valle del río Cotahuasi, Quebrada Pampamarca. Las Fms. Alpabamba, Huaylillas, Sencca, muestran pocos efectos de deformación durante el finiterciario.
- **El Grupo Barroso.** - ampliamente distribuido, presenta buzamiento sub-horizontal a horizontal, con escasos indicios de deformación.
- **Sistema de Fallas.** - El fallamiento en esta zona presenta una dirección andina y como resultado de los efectos compresivos de la tectónica peruana. Los sistemas de fallas tienen una dirección NO-SE. Este fallamiento es difícilmente observable debido a la amplia cobertura volcánica terciaria; sin embargo, es evidente que esta zona ha actuado a modo de depresiones que han favorecido la acumulación de sedimentos continentales y levantando bloques de rocas antiguas

que constituyen los pilares tectónicos hacia el Noreste. Este fallamiento en bloques se observa en los movimientos relativos de las fallas con dirección NO y E-O que se encuentran en la pendiente Oeste de la Cordillera Occidental.

- **Sistema de Plegamientos.** - Las rocas que presentan esta deformación son sedimentitas y rocas carbonatadas del Mesozoico. Se considera que la deformación corresponde a la fase peruana (G. Steinmann 1930), ocurrida durante el Cretácico terminal que afectó básicamente la Cordillera Occidental y el Altiplano. En los cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi, las unidades que presentan esta deformación son rocas mesozoicas como el Grupo Yura, Fm. Murco, Fm. Arcurquina cómo se puede observar a lo largo de los ríos Huayllapaña, Pampamarca, Cotahuasi, al Este de Pampacolca y otros remanentes. Caracterizan a esta zona los pliegues moderados de formas simétricas, asimétricas
- **Geotectónica.** - La Geotectónica de la zona comienza desde el precámbrico hasta el ciclo andino, es decir que presenta un fuerte grado de tectonismo. Regionalmente esta zona se encuentra influenciada por las Fallas regionales de Cincha LLuta de dirección Andina y la Falla regional Iquipi Clavelinas de dirección E-W y se encuentra ubicada en el Bloque Puquio Caylloma. Localmente se observa grandes fracturas que atraviesan el área con dirección NW-SE y ENE-WSW, sobre todo en el cuadrángulo de Chuquibamba. Existen grandes fallas con dirección NW-SE, una de ellas en

Pampacolca con un emplazamiento vertical considerable donde el bloque Sur ha subido y ha puesto en contacto a las rocas metamórficas del Complejo Basal con las Formaciones Murco-Arcuquina de edad cretácea, esta falla continúa hasta los cuadrángulos de Huambo y Cotahuasi. La segunda es la Falla de Chuquibamba que afecta las rocas ígneas y metamórficas, es una falla antigua que presenta reactivación en el cuaternario. La tercera Falla de Feoy Pampa, estrechamente relacionada a las dos primeras. En esta ocasión se destaca la presencia de la “Falla Consuelo” la cual tiene una dirección SE y llega hasta la zona central de la operación. Los rasgos más importantes de las rocas intrusivas, son los sistemas de diaclasas, fracturamiento, fallas e intrusión de diques, siendo estos caracterizados por un fracturamiento más pronunciado. El área comprendida entre Chuquibamba y San Juan, en el que se circunscribe el Yacimiento Alpacay, muestra fuertes lineamientos de orientación NW similares sistema de fallas Iquipi – Clavelinas (Orogenia Andina). Una de estas fallas sería la gran Falla Chuquibamba mencionada en el estudio de Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. Transversal al sistema anterior existe un sistema de fallamiento local de orientación NE-SW, sistema al que está relacionado el campo metalífero de Alpacay. Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero han jugado un rol importante en la conformación del ambiente estructural receptor de la mineralización. Las vetas se alinean a 3 sistemas estructurales importantes. Uno tiene

un rumbo N70° - 80°E mientras que el otro sistema muestra un alineamiento N75°W; ambos sistemas se entrecruzan en forma de X sin producir mayor desplazamiento entre ellos. En las vetas se observa más de un evento tectónico que ha dado lugar a rellenos hidrotermales sobrepuestos.

Figura 22. Sistema de Fallas.

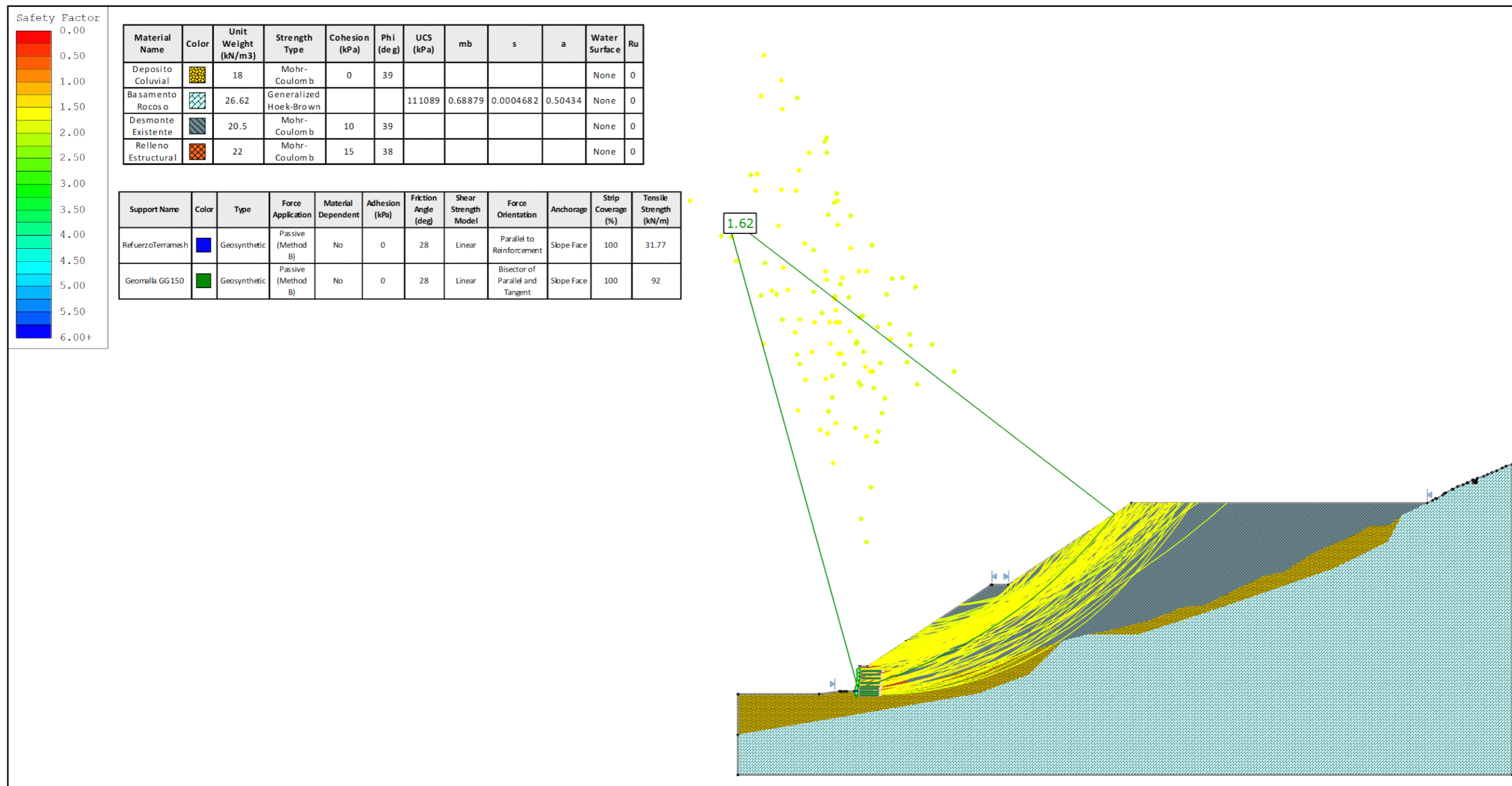


Fuente: Área de Ingeniería y proyectos, 2018.

#### 4.4. Cálculo del Factor de seguridad

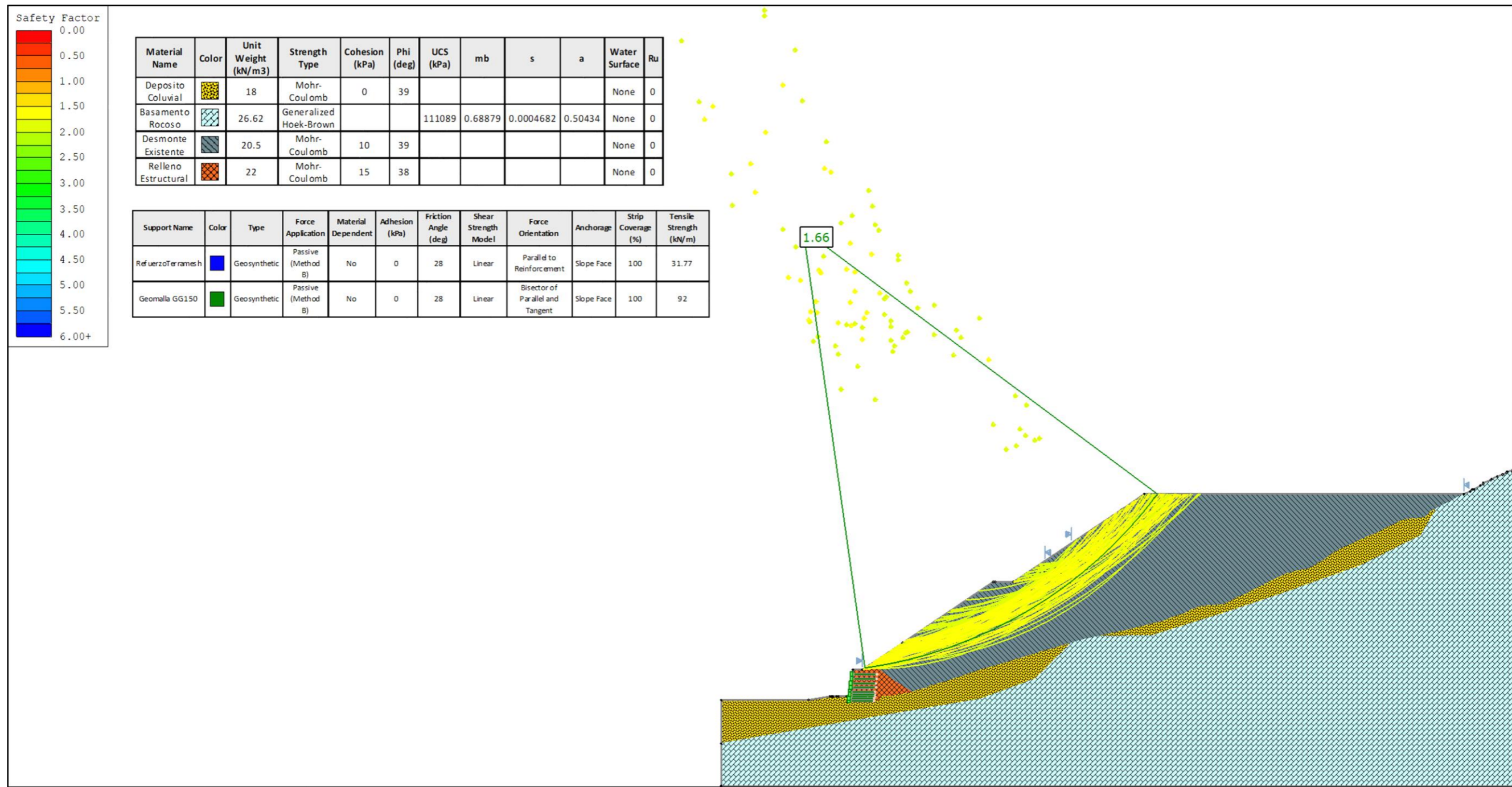
Para el cálculo del factor de seguridad se realiza con el software Slide v 8. Dew Rock Cience.

Figura 23. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico global



Fuente: Elaboración propia.

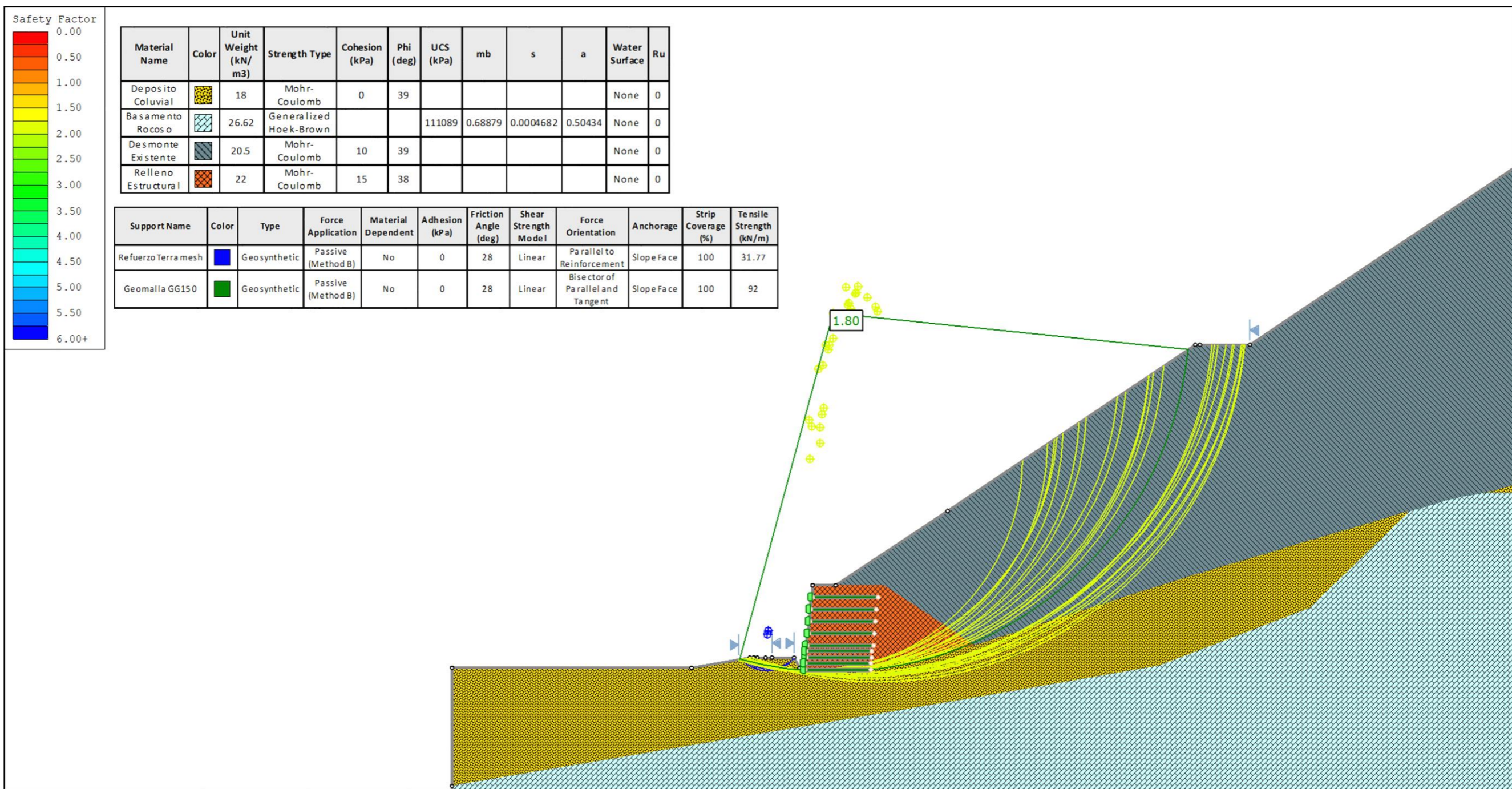
Figura 24. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico en apilamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico local muro de suelo reforzado



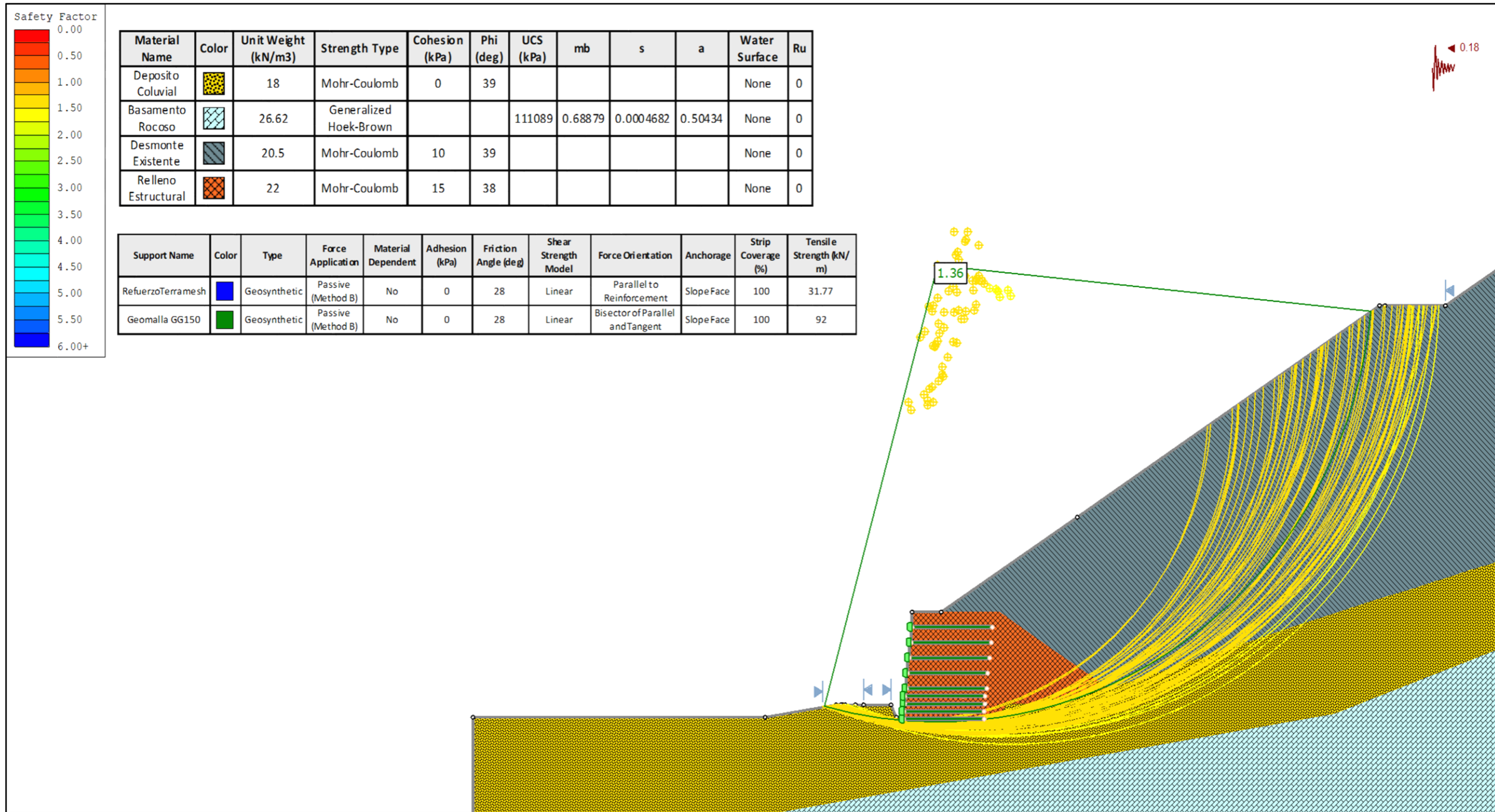


Fuente: Elaboración propia.



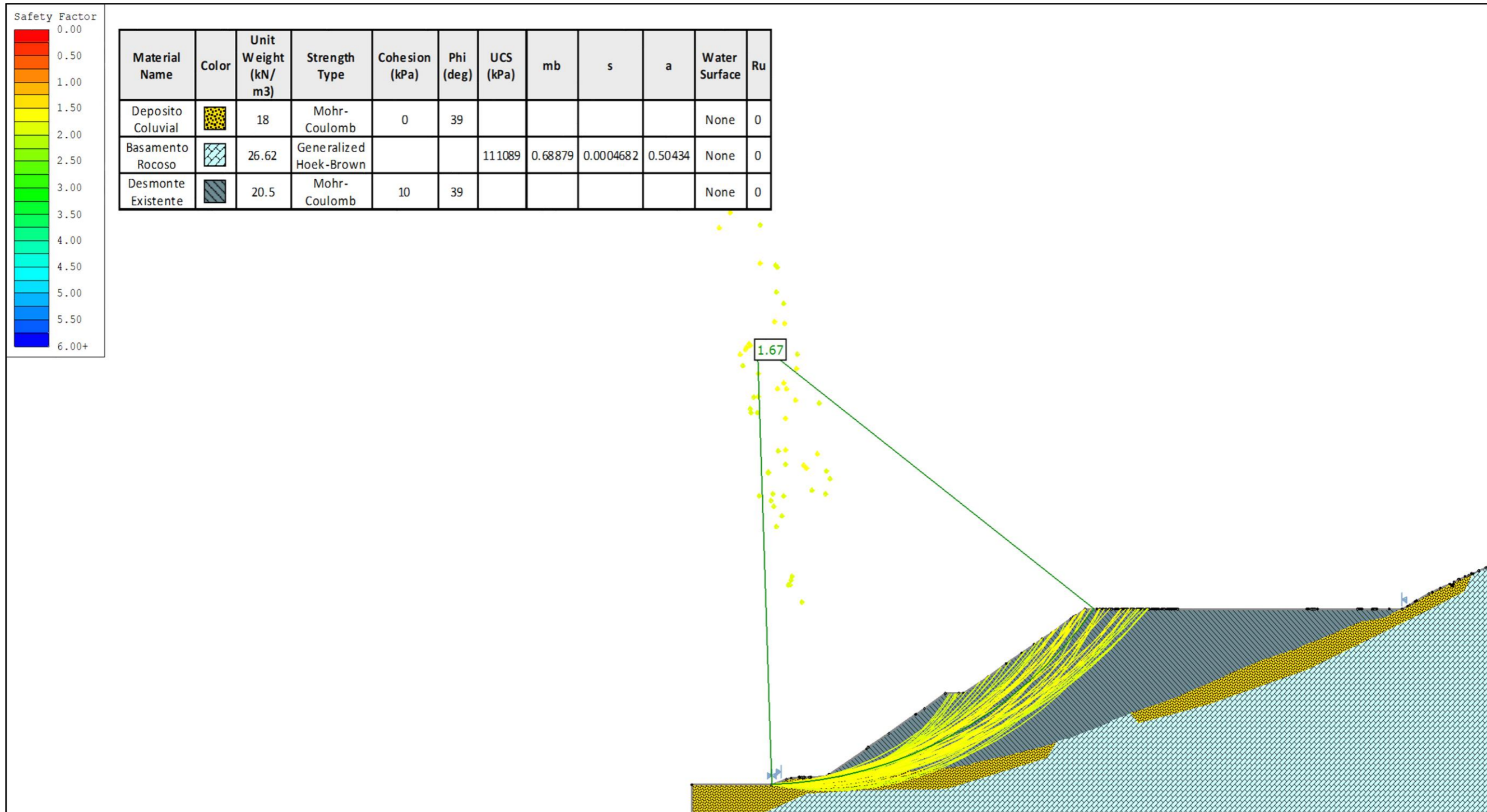


Figura 26. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición pseudoestática.



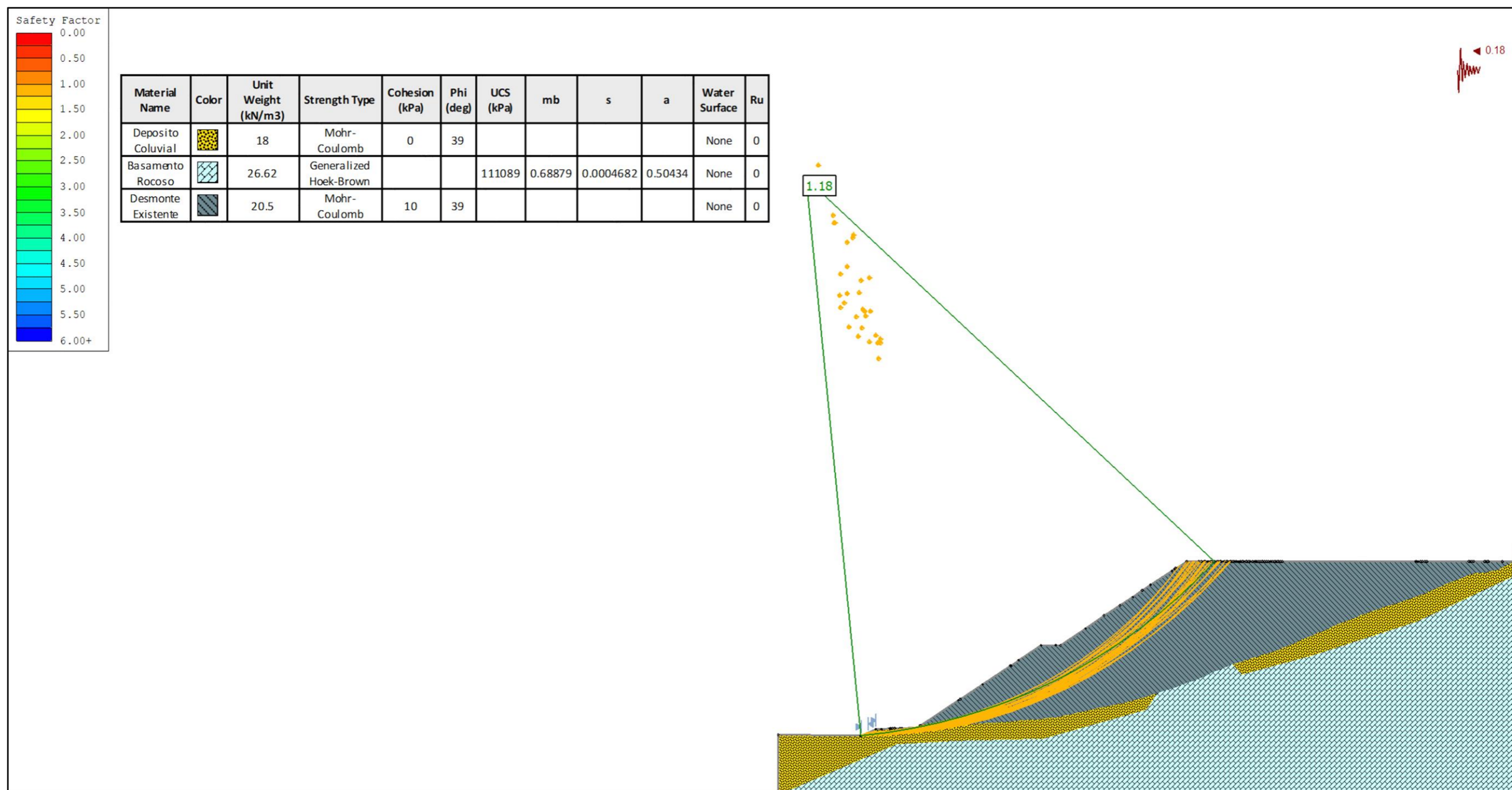
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección A – A. condición estática, análisis geotécnico global.



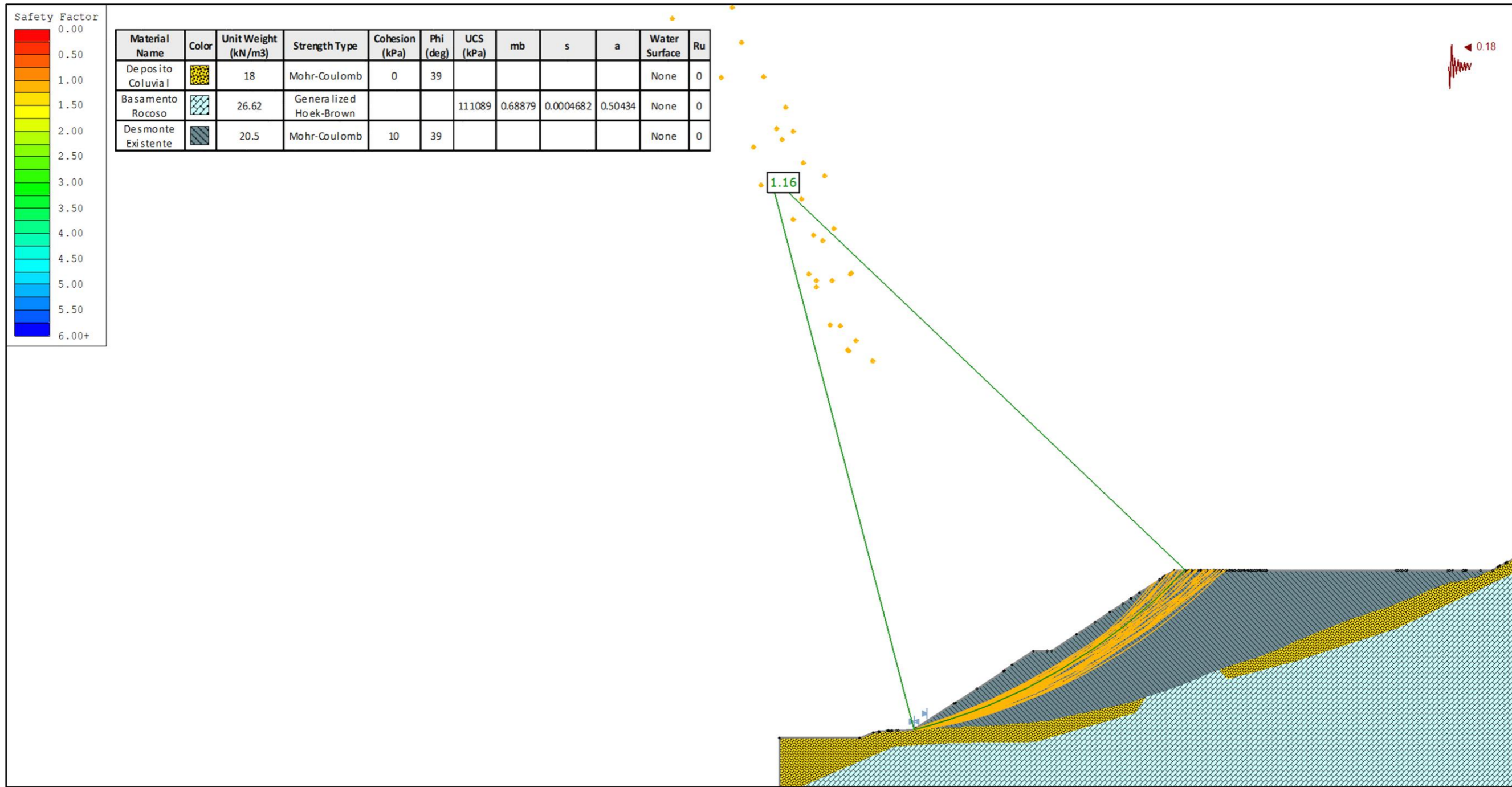
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección B – B, condición pseudoestática, análisis geotécnico global



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro sección B – B, condición pseudoestática, análisis geotécnico en apilamiento



Fuente: Elaboración propia.

## 4.5. Capacidad y vida útil de la Desmontera

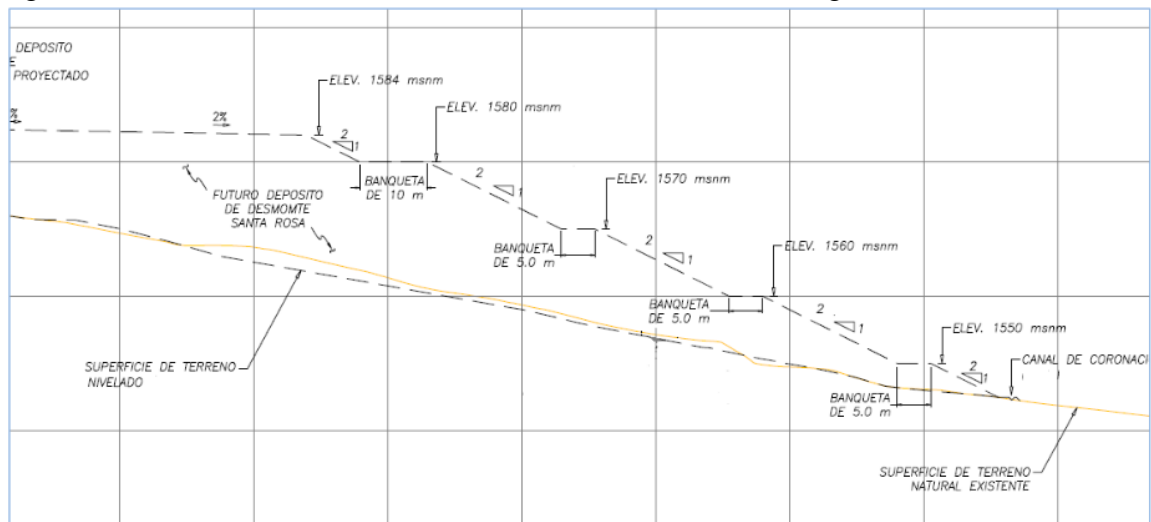
### 4.5.1. Capacidad de depósito de desmonte

Para determinar la capacidad del depósito de desmonte primero se seleccionará el tipo de depósito y se elegirá la geometría del mismo.

- **Selección del tipo de botadero (en laderas).** - Se seleccionó este tipo de botadero en laderas considerando los siguientes criterios
  - La topografía del área para el depósito de desmonte que se asemeja a un depósito en laderas.
  - La cercanía a la bocamina del crucero que conectará las vetas principales y el área para almacenamiento de mineral temporal en la bocamina principal.
  - La distancia de transporte del desmonte desde la bocamina hasta el depósito de desmonte aproximadamente 10 m.
  - Considerando estos puntos mencionados se ha elegido la quebrada Tantarpatá por su cercanía a la bocamina principal y por su topografía el cual permitiría construir un depósito de desmonte en Ladera.
- **Propuesta del diseño geométrico del depósito de desmonte.** - Se plantea la siguiente configuración geométrica para el depósito de desmonte contará con un talud interbanqueta de 2H: 1V y talud global de 2.5H:1V. El punto más alto de la superficie de fundación del depósito de desmonte se encuentra a una elevación de 1,585 msnm y el

más bajo (cercana al área destinada para la poza colectora), a una elevación de 1,540 msnm, La altura entre banquetas será de 10 m y el ancho de banqueta de 5m para permitir el acceso para descarga de desmote. El área proyectada para el emplazamiento del depósito se ubica como mínimo a 50 metros de retiro de la quebrada Tamtarpata (cuerpo de agua) de acuerdo a las regulaciones indicadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Figura 30. Perfil de la Desmontera N°3 de la Unidad Minera Sangre de Toro.



Fuente: Elaboración propia.

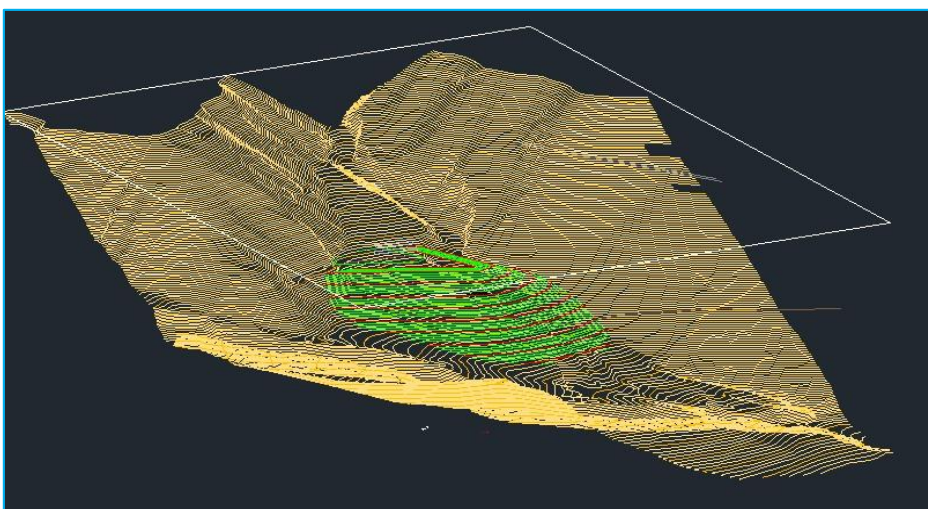
El depósito de desmote estará sobre una superficie nivelada, contará con 05 (cinco) banquetas con un talud entre bancos de 2H: 1V (por cada 2 m en horizontal se subirá 1 m en vertical)

- **Determinación de la capacidad del depósito de desmote.** - Para proyectar el volumen del depósito de desmote se ha empleado la fórmula desarrollada según Ortiz, 2016 Con una densidad húmeda de desmote de 2.15 Ton/m<sup>3</sup> según el ensayo Próctor estándar que siguió los procedimientos de la norma ASTM D-698, que simula la

compactación que sufrirá el depósito de desmonte al momento de su construcción en sentido ascendente. Cabe recalcar que el material almacenado en el depósito de desmonte no generará drenaje ácido tal como se indica en el análisis de estabilidad química, debido a ello se diseñó el depósito de desmonte considerando que todo el material de desmonte extraído de mina será almacenado en su totalidad en dicha estructura. Según planeamiento de Adriatica SAC. Se ha previsto que se producirá 416 400.00 ton de desmonte en los 10 años de vida de la mina que se proyecta.

- Se ha tomado el 90% de la MDS
- $P_e (\gamma) = 2,15 \text{ Ton/m}^3$
- TX: 416 400.00 ton  $VX = TX / \gamma (\text{m}^3)$  Reemplazando en la fórmula
- $VX = 416 400,00 \text{ ton} / 2.15 \text{ Ton/m}^3$

Figura 31. Vista en 3D de la Desmontera N°3, proyectado.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6. Discusión de resultados

- El depósito de desmonte estará sobre una superficie nivelada, contará con 05 (cinco) banquetas con un talud entre bancos de 2H: 1V (por cada 2 m en horizontal se subirá 1 m en vertical).
- El punto más alto de la superficie de fundación del depósito de desmonte se encuentra a una elevación de 1,585 msnm.
- Su capacidad es de 416 400,00 Toneladas métricas.
- $P_e (\gamma) = 2,15 \text{ Ton/m}^3$
- Vida útil 10 años.

#### 4.7. Aporte del tesista

Se aporato con realizar el análisis geotécnico para la estabilidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro, en el año 2021.



## CONCLUSIONES.

1. La caracterización geotécnica del área para el depósito de desmonte han permitido proporcionar parámetros efectivos, como precipitación máxima para 24 horas 58.31 mm, caudal máximo de salida 3.49 m<sup>3</sup>/s, caudal de flujo hiperconcentrado 4.36 m<sup>3</sup>/densidad mínima seca (MDS) 2.15 gr/ cm<sup>3</sup> coeficiente de sismicidad Z 0.23g, parámetros de resistencia de materiales para desmonte peso específico ( $\gamma$ : 20kN/m<sup>3</sup>), cohesión ( $c$ : 56.33kPa), ángulo de fricción interno ( $\phi$ : 27.6o), material Aluvial peso específico ( $\gamma$ : 21kN/m<sup>3</sup>), ángulo de fricción interno ( $\phi$ : 32o), y Roca peso específico ( $\gamma$ : 22 kN/m<sup>3</sup>) tipo de material de cimentación, y perfiles geotécnicos que han permitido realizar el análisis de estabilidad física y determinar la construcción del depósito de desmonte.
2. El depósito de desmonte N3, del análisis de factores de seguridad para las condiciones pseudoestáticas se evidenció que el cambio de este valor, para distintas secciones, no sigue la misma proporción de cambio que para las condiciones estáticas, y, por lo tanto, en el caso pseudoestático la geometría del talud no influye considerablemente a la estabilidad del mismo. Es decir, que la estabilidad será proporcionada por las características geotécnicas de los materiales presentes
3. La geología local, está comprendida principalmente por roca intrusiva granodiorita también en la zona cuerpos ígneos del tipo tonalita; existen rocas pertenecientes a la Formación Sencca la cual está conformada por un conjunto de rocas volcánicas de naturaleza piroclástica, además de tufos riolíticos con biotita, las rocas que conforman esta formación son esencialmente piroclásticas compuestas por tobas dacíticas y riodacitas cuyo color predominante es el gris. En esta ocasión se destaca la presencia de la falla Consuelo la cual tiene una dirección SE y llega hasta la zona

central de la operación. Las dos fallas principales conocidas como Piñog y Chiuca que flanquean las vetas de este distrito minero han jugado un rol importante en la conformación del ambiente estructural receptor de la mineralización. Es un yacimiento aurífero, mesotermal, filoneano, relacionado con la mineralización aurífera en rocas intrusivas de las Superunidades Incahuasi y Tiabaya del Batolito de la Costa. Este depósito ocurre en lo que se ha denominado la Franja Aurífera Nazca-Ocoña que alberga innumerables minas y depósitos en vetas angostas como Arirahua, San Juan de Chorunga, Chaluane, Las Clavelinas, María Eugenia, entre otros. Las vetas se alinean a lo largo de una franja de 5 Km. En dirección N70°E, entre la veta Encarna (NV 2500) y la veta Esperanza (NV 1790). Sin embargo, la mineralización se extiende unos 3Km más en dirección NE, tramo en el que las vetas son más angostas, poco exploradas y escasamente explotadas. Individualmente, las vetas presentan afloramientos de varios de cientos de metros, entre las que destacan Esperanza (600m), Consuelo (500m), Encarna (500m), Niño Jesús (800m), El Rey (450m) y la Reina (800m).

4. En concordancia con el MEM (2016), para el depósito de desmonte, los factores mínimos de seguridad son 1.5 como factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas y 1.3 como factor mínimo de seguridad en condiciones pseudo-estáticas.
5. La capacidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chaluane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021, es de 416 400,00 Toneladas métricas y tendrá una vida útil de 10 años.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al ingeniero geotécnico responsable en terreno deberá estar atento a los posibles cambios del buzamiento tanto de las discontinuidades como de la estratigrafía de la roca, ya que esto incide en el sistema de fortificación.
2. Se recomienda una metodología de excavación, en la cual se excave de arriba hacia abajo, deteniendo la excavación para la construcción de la fortificación del intervalo de banco que se estima será entre 1.5 m de altura máxima en suelo y 2.0 m de altura máxima en roca. Es primordial que la excavación no avance hasta que la fortificación del nivel excavado este culminado.
3. El depósito de desmonte debe tener tres bancos para asegurar su estabilidad además de utilizar un muro de contención de concreto armado en voladizo.
4. La calidad del macizo rocoso sobre el que se construirá el depósito de desmonte según el uso de la clasificación del GSI tiene un valor de 55 que es de Regular calidad debido al nivel de fracturamiento que presenta.
5. Para asegurar la estabilidad hidrológica del depósito de desmonte se recomienda construir canales de derivación de aguas en la cabecera de la desmontera y una vez construida construir canales interbanquetas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuña Medina, R. (2020). *Análisis geotécnico para la estabilidad de las desmonteras DSB1, Y DSB2, Santa Bárbara, Huancavelica 2019*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Minas, Cajamarca, Perú.
- Aguirre Carpio, C. Revista Seguridad Minera N° 64. (2012). *Construcción de botaderos, Ingeniero Geotécnico Senior de la Compañía Minera Argentina Gold S.A., Barrick Veladero. Veladero, Argentina.* .
- Área de Ingeniería y proyectos. (2018). *Proyecto de la Unidad Minera Sangre de Toro, de la empresa Minera Chalhuane S.A.C. . Andaray, Perú.* .
- Bautista Fernández, C. (2020). *Estudio minero para el diseño del depósito de desmonte con muro de contención en una mina subterránea, Cajabamba 2020*”. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Minas, Cajamarca, Perú.
- Cuzco Ll. C. y Correa S. F. . (2018). *Diseño de botaderos para los residuos de la producción de óxido de calcio en la concesión Colquirrumi No 49 - B, provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca, 2018*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Minas, Cajamarca, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. . (2006). *Metodología de la Investigación*. Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.
- <https://www.icog.es/>. (s.f.). *TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/*.
- MSc. Ing. Aguirre Carpio, C. (2012). *Construcción de botaderos de desmonte a partir de una clasificación geotécnica en zonas de climas secos con inviernos rigurosos. Aporte a la investigación Minera. Veladero, Argentina.*

- Paucar Conce, G. (2015). *Diseño y estabilidad de botaderos de desmonte para la remediación de pasivos ambientales de la mina Recuperada - Huancavelica*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Civil, Huancayo, Perú.
- Pinado Santos, M. (2021). *El método Monte Carlo en la evaluación de la estabilidad física de taludes mineros de material granular*. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional del Centro del Perú. Escuela de Posgrado. Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.
- Roncal Zelada, L.,. (2020). *Influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Geológica, Cajamarca, Perú.
- Veliz Poma, G. (2019). *Evaluación de la ampliación del depósito de desmonte botadero 100 de la mina Cerro Lindo año 2019*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
- Vilca Arredondo, A. (2019). *Estudio geotécnico para la estabilidad del talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa – Arequipa*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Facultad de Ingeniería Geología, Minas y Metalúrgica. Escuela Profesional De Ingeniería de Minas. Cusco, Perú. .
- Vilca Casazuela, C. (2018). *Diseño e implementación del método de explotación Bench And Fill Stoping en vetas angostas tipo rosario, para incrementar la producción – Minera Chalhuane S.A.C*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. .

# ANEXO

## ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	POBLACIÓN Y MUESTRA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis General	Variable Independiente	Población
¿Cuál es el diseño de estabilidad del depósito de desmontes N° 03 en la unidad minera sangre de toro 2021?	El objetivo principal de este trabajo es realizar el análisis geotécnico para el diseño del depósito de desmonte N° 03 para la unidad minera sangre de toro de la empresa Chalhuane S.A.C.	Si realizamos el análisis geotécnico entonces determinaremos la estabilidad del depósito de desmonte N° 03 - compañía minera Chalhuane S.A.C - U.E.A Sangre de Toro – año 2021.	Análisis geotécnico.	La población estará constituida por todos los depósitos de desmonte de la unidad minera sangre de toro que son un total de 3 desmonteras.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis General	Variable Dependiente	Muestra
¿Como realizar el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N° 03?	Realizar el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N3.	Se realiza el diseño de estabilidad física del depósito de desmonte N3.	Estabilidad del depósito de desmonte N° 03.	La muestra estará constituida por el depósito de desmonte N° 3 de la unidad minera sangre de toro.
¿Como realizar el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte?	Realizar el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte.	Se realiza el estudio geológico de la zona que se construirá el depósito de desmonte.		
¿Como calcular el Factor de seguridad?	Calcular el Factor de seguridad.	Se calcula el Factor de seguridad.		
¿Como determinar la capacidad y vida útil de la desmontera?	Determinar la capacidad y vida útil de la desmontera.	Se determina la capacidad y vida útil de la desmontera.		

Fuente: Elaboración propia.

