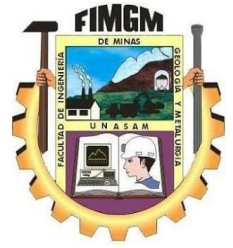




UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

**ESTUDIO GEOTÉCNICO Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD FÍSICA
DEL BOTADERO DE DESMONTES DE LA MINA COTURCAN
PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD - 2023**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR:

BACH. ORTIZ MIRANDA KEVIN

ASESOR:

Dr. BOJÓRQUEZ HUERTA GUSTAVO ROBERTO

HUARAZ – PERÚ

2024





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 once horas con veinte minutos de la mañana (11:20 a.m.) del día veintidós de Febrero del Dos mil veinticuatro (22/02/24), se reunieron los miembros del Jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 013-2024-FIMGM/D, de fecha 30 de Enero del 2024, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**, como **Presidente**; **Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES**, **Secretario** y el **M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA**, como **Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulada: **"ESTUDIO GEOTECNICO Y ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL BOTADERO DE DESMONTES DE LA MINA COTURCAN PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD - 2023"**, presentado por el **Bachiller KEVIN ORTIZ MIRANDA**, 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° 013-2024-FIMGM/D de fecha 30 de Enero del 2024. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de treinta minutos (30), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Evaluador, 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 doce horas y diez minutos (12:10 p.m) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.**

En consecuencia, queda en condición de ser **Aprobado** 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

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA

Vocal

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA

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 INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGÍA



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado Evaluador, informamos que el Bachiller KEVIN ORTIZ MIRANDA, ha sustentado la tesis titulada **"ESTUDIO GEOTECNICO Y ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA DEL BOTADERO DE DESMONTES DE LA MINA COTURCAN PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD - 2023"**, el día 22 de Febrero del 2024, la cual declaramos aprobado por unanimidad.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 22 de Febrero del 2024

Dr. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI

Presidente

Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES

Secretario

M.Sc. Ing. WALTER NICOLAW ROMERO VEGA

Vocal

Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA

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:

Estudio Geotécnico y Análisis de Estabilidad Física del Botadero de Desmontes de la Mina
Coturcan para Garantizar la Seguridad - 2023

Presentado por: Kevin Ortiz Miranda

con DNI N°: 75451709

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 : 23% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (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, 20/03/2024


FIRMA

Apellidos y Nombres: Dr.Bojorquez Huerta Gustavo Roberto

DNI N°: 32645242

Se adjunta:

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

DEDICATORIA

Dedico a Dios por haberme acompañado durante mi formación académica, a mis padres Margot y Capistrano, a mis hermanos: Soledad, Tedy, Etson, Wagner y de una manera muy especial a Edén por su apoyo incondicional y motivaciones a seguir siempre adelante, lo cual me da muchas fuerzas para seguir persiguiendo mis sueños y ser mejor profesional cada día.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la manera de guiarme el sendero de la vida.

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y a los docentes por haberme compartido sus experiencias para formarme un buen profesional con valores y conocimientos de calidad.

A mi asesor, Dr. Ing. Bojórquez Huerta Gustavo Roberto, por la instrucción en el desarrollo de mi tesis a través de su amplia experiencia en el tema tratado.

RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo de investigación titulado **Estudio Geotécnico y Análisis de Estabilidad Física del Botadero de Desmontes de la Mina Coturcan para Garantizar la Seguridad – 2023**. Se justifica porque es importante la estabilidad y seguridad del botadero de desmontes y proteger el entorno y la comunidad circundante. En la tesis se emplea el método científico porque se tiene una aplicación sistemática de procedimientos para obtener resultados confiables y objetivos. Los resultados más importantes destacan que el estudio geotécnico garantizará la estabilidad y seguridad del botadero en 2023. Entre los aspectos relevantes se encuentran la capacidad y volumen del depósito, la geometría del mismo, el sistema de drenaje, medidas de prevención de erosión, el monitoreo y el control continuo para detectar inestabilidad a tiempo. La conclusión más importante es que el estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la mina Coturcan es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad del botadero. Evaluar la estabilidad del depósito es importante para prevenir riesgos de deslizamientos o colapsos que podrían afectar la seguridad de los trabajadores y el entorno físico y se determinó que en condiciones Pseudoestático de la Sección 1-1, tenemos que el factor de seguridad es igual 1,05, y en condiciones Pseudoestático de la Sección 2-2 tenemos que el factor de seguridad es igual 1,33.

Palabras claves: Estudio geotécnico, Análisis de estabilidad física, Botadero de desmontes, Mina Coturcan, Seguridad, 2023.

ABSTRACT

The general objective of this research work entitled Geotechnical Study and Physical Stability Analysis of the Coturcan Mine Waste Dump to Guarantee Safety - 2023. It is justified because the stability and safety of the waste rock dump is important and to protect the environment and the surrounding community. The scientific method is used in the thesis because there is a systematic application of procedures to obtain reliable and objective results. The most important results highlight that the geotechnical study guarantees the stability and safety of the dump in 2023. Among the relevant aspects are the capacity and volume of the deposit, its geometry, the drainage system, erosion prevention measures, monitoring and continuous monitoring to detect instability in time. The most important conclusion is that the geotechnical study and physical stability analysis of the waste rock dump at the Coturcan mine is essential to guarantee the stability and safety of the dump. Evaluating the stability of the tank is important to prevent risks of landslides or collapses that could affect the safety of workers and the physical environment and it was determined that in Pseudostatic conditions of Section 1-1, we have that the safety factor is equal to 1,05, and in Pseudostatic conditions of Section 2-2 we have that the safety factor is equal to 1.33.

Keywords: Geotechnical study, Analysis of physical stability, Waste dump, Coturcan mine, Safety, 2023.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
INTRODUCCIÓN	xii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso	1
1.1.2. Clima y vegetación	3
1.1.3. Topografía.....	3
1.1.4. Flora y fauna	3
1.1.5. Fisiografía	4
1.2. Entorno Geológico.....	4
1.2.1. Geología regional.....	4
1.2.2. Geología local	7
1.2.3. Geología estructural	9
1.2.4. Geología económica.....	12
CAPITULO II.....	14
FUNDAMENTACIÓN	14
2.1. Marco Teórico	14
2.1.1. Antecedentes de la investigación	14
2.1.2. Fundamentación teórica	21
2.1.2.1. Estudio geotécnico	21
2.1.2.2. Estabilidad de taludes.....	22
2.1.2.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud	24

2.1.2.4. Tipos de falla de taludes.....	24
2.1.2.5. Metodologías para el Análisis de la Estabilidad	28
2.1.2.6. Botadero de desmontes de mina.....	32
2.1.2.7. Seguridad de un botadero de desmontes	333
2.1.3. Definición de Términos	33
CAPITULO III	37
METODOLOGÍA.....	37
3.1. El Problema	37
3.1.1. Descripción de la realidad problemática.....	38
3.1.2. Formulación del Problema.....	40
3.1.2.1. Formulación del problema general	40
3.1.2.2. Formulación de los problemas específicos	41
3.1.3. Objetivos de la investigación.....	41
3.1.3.1. Objetivo General.....	41
3.1.3.2. Objetivos Específicos.....	40
3.1.4. Justificación e importancia	41
3.1.5. Alcances.....	41
3.1.6. Limitaciones de la investigación.....	41
3.2. Hipótesis	41
3.3. Variables	42
3.4. Diseño de la investigación	44
3.4.1. Tipo de investigación.....	44
3.4.2. Nivel de la investigación.....	44
3.4.3. Método	44

3.4.4. Diseño de investigación	45
3.4.5. Población y muestra.....	45
3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	45
CAPITULO IV	47
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	47
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos	47
4.2. Parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan	47
4.2.1. Depósito de desmonte Coturcan	48
4.3. Condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.....	50
4.3.1. Condiciones del sitio.....	51
4.3.2. Hidrología e Hidrogeología:	51
4.3.3. Geoquímica:.....	52
4.3.4. Peligro Sísmico:	53
4.3.5. Identificación de los Aspectos Ambientales:.....	54
4.3.6. Plan de Descarga.....	55
4.3.7. Secuencia de Descarga.....	56
4.4. Análisis de estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.....	57
4.5. Discusión de resultados	62
4.6. Aportes del tesista.....	63
CONCLUSIONES.....	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
ANEXO	69

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS 70



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Mina Coturcan.	2
Figura 2. Columna Estratigráfica Regional.	6
Figura 3. Ubicación del yacimiento de Huancapeti en el modelo geológico de Richard Sillitoe.....	8
Figura 4. Esquema Vista en Planta – Geología Estructural.....	11
Figura 5. Caídos de bloques por gravedad en roca fracturada.....	26
Figura 6. Volteo o inclinación en materiales residuales.....	26
Figura 7. Nomenclatura de deslizamiento	27
Figura 8. Nomenclatura de deslizamiento	27
Figura 9. Depósito de Desmonte Coturcán - Plan de descarga 2023.	50
Figura 10. Plan de descarga – depósito de desmonte Coturcan.....	57
Figura 11. Análisis de Estabilidad Estático, Depósito de Desmonte Coturcán, S. 1-1.	60
Figura 12. Análisis de Estabilidad Pseudoestático, Depósito de Desmonte Coturcan, S. 1 1.....	60
Figura 13. Análisis de Estabilidad Estático, Depósito de Desmonte Coturcán, Sección 2- 2.....	61
Figura 14. Análisis de Estabilidad Pseudoestático, Depósito de Desmonte Coturcán, S. 2- 2.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ruta de acceso a la Mina Coturcan.	1
Tabla 2. Factores inherentes a la estabilidad de Taludes.....	25
Tabla 3. Listado de ecuaciones para cálculo de estabilidad.	31
Tabla 4. Continuación. Listado de ecuaciones para cálculo de estabilidad.....	32
Tabla 5. Operacionalización de variables.....	43
Tabla 6. Parámetros Geoquímicos.....	53
Tabla 7. Periodo de retorno.	54
Tabla 8. Producción de Desmonte Mina – 2023.	55
Tabla 9. Plan de Descarga 2023.	56
Tabla 10. Parámetros Geotécnicos de los materiales.	58
Tabla 11. Depósito de Desmonte Coturcan.....	59
Tabla 12. Distancia de Acarreo desde la mina hasta el depósito de desmonte.....	59

INTRODUCCIÓN

La minería, como actividad esencial para el crecimiento económico y la obtención de reservas naturales, desempeña un papel crucial en la sociedad moderna. Sin embargo, la explotación minera también conlleva desafíos significativos relacionados con la gestión adecuada de los desechos generados durante el proceso extractivo. Entre estos desechos, los desmontes de la mina, constituidos por materiales estériles y de baja ley, requieren de una disposición adecuada y segura para minimizar el impacto ambiental y garantizar la seguridad a lo largo del tiempo.

En este entorno, el actual estudio titulado "Estudio Geotécnico y Análisis de Estabilidad Física del Botadero de Desmontes de la Mina Coturcan para Garantizar la Seguridad - 2023" se enfoca en analizar de manera exhaustiva la estabilidad y el comportamiento geotécnico del botadero de desmontes ubicado en la Mina Coturcan. El interés de este análisis consiste en asegurar que el área destinada para la disposición de residuos sea una solución técnica y ambientalmente viable, con el objetivo primordial de salvaguardar la plenitud del ambiente y la conservación de las comunidades circundantes.

El principal propósito de esta tesis es llevar a cabo un estudio geotécnico integral que permita evaluar la estabilidad física del botadero de desmontes en la Mina Coturcan.

Para alcanzar los objetivos planteados, se llevará a cabo un proyecto de investigación que combinará labores de campo, muestreo de suelos y rocas, pruebas de laboratorio y análisis geotécnicos avanzados. Se utilizarán herramientas de modelado geotécnico y software especializado para simular diferentes escenarios y condiciones de carga, lo que permitirá evaluar la estabilidad del botadero en situaciones reales y extremas. Estructura de la Tesis:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, en esta investigación, se lleva a cabo una detallada especificación del ambiente físico y geológico de la mina Coturcan.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN, en el transcurso de la investigación, se abordan los antecedentes, el marco teórico que sostenga el estudio, y se dispone las definiciones de los términos clave utilizados en la tesis.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, con la definición del problema a estudiar, la delimitación de objetivos, la justificación del estudio, la formulación de hipótesis y la identificación de variables clave. Posteriormente, se detalla la metodología empleada basada en el rigor del método científico, incluyendo el tipo de investigación, su nivel, así como las estrategias y pasos seguidos para llevar a cabo la tesis. Además, se describen la población objetivo y la muestra seleccionada, junto con las herramientas y técnicas específicas utilizadas para la recolección de datos con el propósito de garantizar la precisión y validez del estudio.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, se presentarán las respuestas del estudio, la explicación de los datos obtenidos, un análisis detallado y la contribución del autor de la tesis.

En la parte final se exponen las conclusiones, las recomendaciones, fuentes de referencia y el anexo.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

La mina Coturcan, se encuentra en la confluencia de las provincias de Recuay y Aija, en el Departamento de Ancash, al lado occidental de la Cordillera Negra. La ubicación precisa incluye a los distritos de Ticapampa y Aija, pertenecientes a las provincias de Recuay y Aija, respectivamente. Las coordenadas geográficas de la mina son una longitud oeste de 77° 33' y una latitud sur de 90° 46'. La altitud varía entre 3,900 y 4,600 metros sobre el nivel del mar. (Lázaro, 2018, pp. 1-2).

Acceso:

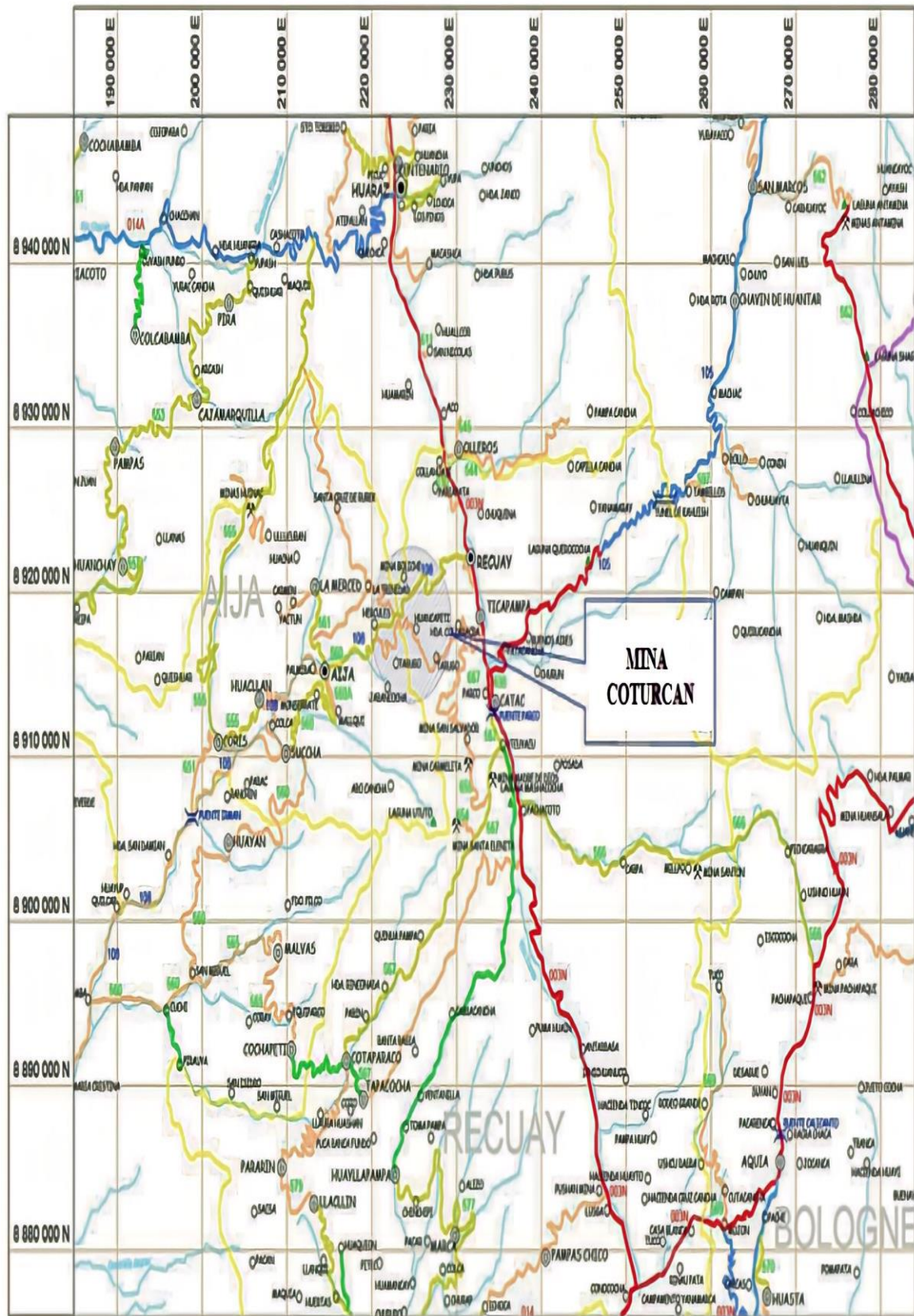
El acceso desde la ciudad de Lima a la Mina Coturcan, es la siguiente

Tabla 1. Ruta de acceso a la Mina Coturcan.

Ruta	Km	Tipo de carretera	Horas
Lima - Recuay	378,00	Asfaltada	7,00
Recuay – Mina Coturcan	42,00	Trocha afirmada	1,50
Total	420,00		8,50

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Ubicación de la Mina Coturcan.



Fuente: Jorge Eduardo Lázaro Maguiña, 2018.

1.1.2. Clima y vegetación

El área tiene un clima templado a frío y seco por la altitud. De diciembre a abril, hay lluvias persistentes y tormentas de nieve a más de 4000 ms.n.m., con temperaturas nocturnas de 0 °C a 5 °C y diurnas de 7 °C a 14 °C. De junio a octubre, es seco con esporádicas precipitaciones y temperaturas diurnas de 5 °C a 16 °C y nocturnas de 0 °C a 1 °C, especialmente a más de 4500 m.s.n.m. Los lugareños conocen estas bajas temperaturas como "heladas". De junio a agosto, se intensifican los vientos de 20 a 40 km/hora. El clima se clasifica como "tundra seca de alta montaña" según el "Instituto Nacional de Recursos Naturales" (INRENA, citado por Gómez, 2017, pp. 7-8).

1.1.3. Topografía

La Cordillera Negra, un sector de los Andes Occidentales en Perú, se caracteriza por superficies erosionadas a varias altitudes, que varían desde los 3400 hasta los 4900 ms.n.m. Su topografía incluye colinas, circos glaciales antiguos, superficies onduladas, quebradas y escarpas, con una dirección predominante hacia el noroeste-sureste, típica del rumbo andino. (Lázaro, 2018, p. 16).

1.1.4. Flora y fauna

Las plantas en el territorio varían según la altitud, desde arbustos y gramíneas a 3,700 ms.n.m. hasta gramíneas conocidas como "ichu" a más de 4,000 ms.n.m. La agricultura se concentra por debajo de los 3,500 ms.n.m, principalmente en el declive del Valle del Santa y abruptos cercanas al Río

Aija. El clima es templado a frío y seco por la altitud. De noviembre a abril, hay lluvias persistentes, y de mayo a octubre, hay sequía con esporádicas precipitaciones pluviales. Las temperaturas oscilan entre 10 °C y -5 °C en altitudes superiores a 4,500 ms.n.m, y los meses de junio a agosto se distinguen por fuertes vientos. El área tiene un clima de "tundra seca de alta montaña" de acuerdo al Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). La fauna consiste principalmente en ganado doméstico y animales salvajes como la vizcacha y algunas aves. (Lázaro, 2018, pp. 16-17).

1.1.5. Fisiografía

La Cordillera Negra es una sección de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú, con terrenos erosionadas expuestas entre 3,400 y 4,900 ms.n.m. Su relieve regional incluye colinas, circos glaciales antiguos, superficies onduladas, quebradas y escarpas, con cumbres predominantemente en dirección andina (NW-SE) (Gómez, 2017, p. 8).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

La geología de la región, situada en la "Cordillera de los Andes" del Perú, se caracteriza por su complejidad y diversidad. Los Intrusivos Terciarios, compuestos principalmente de dacitas y riodacitas, son prominentes en la zona, junto con el Grupo Calipuy, que se extiende en el transcurso de la "Cordillera Negra" con una potencia variable de 25 a 40 km. Los primordiales ríos, como Pativilca, Fortaleza, Aija y Pira,

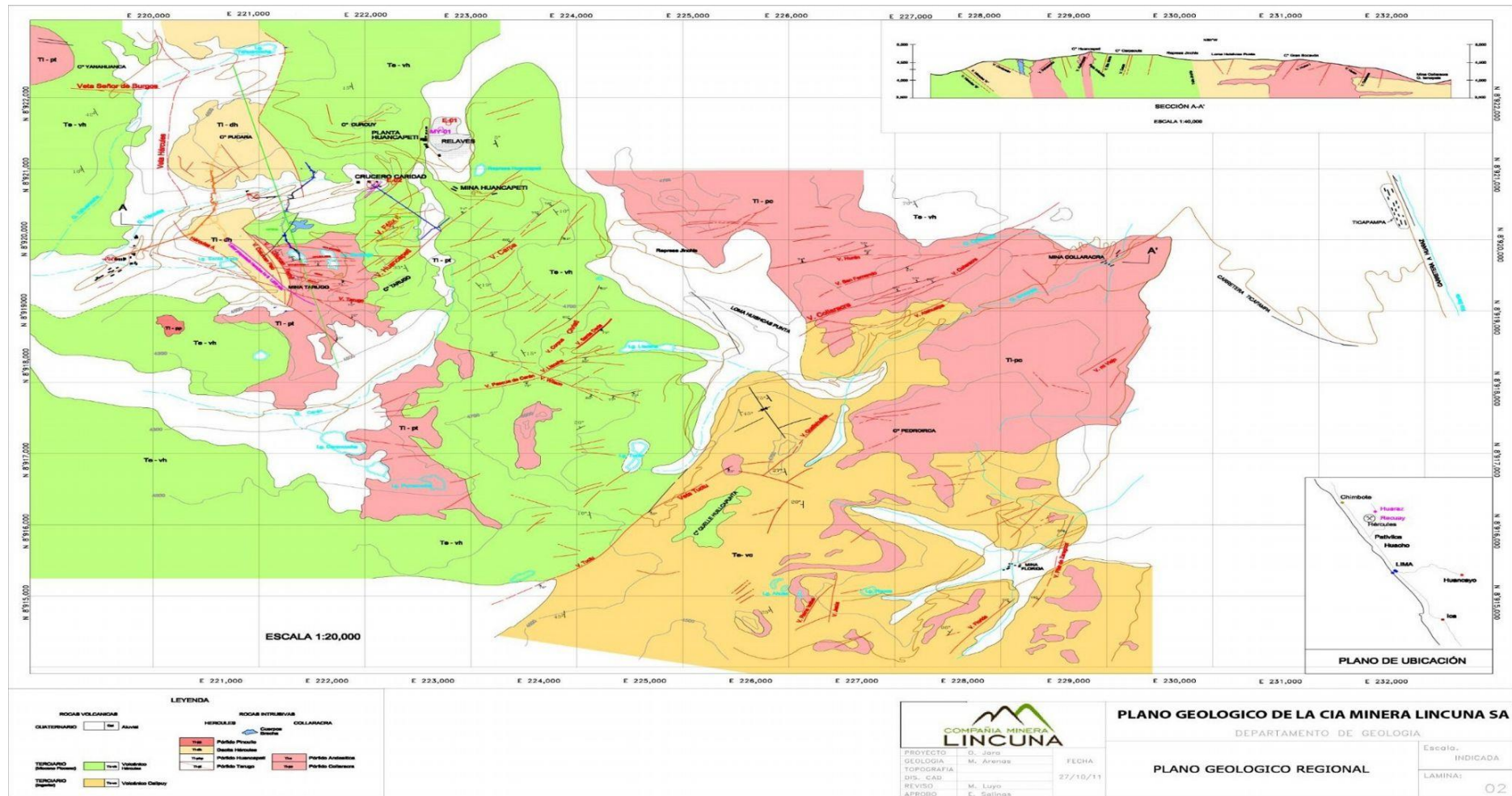
desempeñan un papel significativo en la delimitación del límite oriental de esta región geológica.

Además, la presencia de afloramientos del Grupo Calipuy en la Cordillera Blanca y Huayhuash indica una interconexión geológica entre estas cordilleras vecinas. Esta geología diversa ha resultado en una amplia gama de rocas y formaciones en diferentes localidades, lo que agrega un alto grado de heterogeneidad a la región.

La Cordillera Negra exhibe una superficie de erosión a diferentes niveles, ofreciendo un paisaje con lomas, antiguos circos glaciales, zonas onduladas, desfiladeros y escarpas. Su orientación predominante de rumbo andino (NW-SE) contribuye a su singularidad geográfica.

El conocimiento detallado de la geología de esta área es de gran importancia para entender su evolución tectónica y geomorfológica a lo largo de la historia geológica. Además, puede tener implicaciones significativas en términos de recursos naturales, incluyendo la minería, la agricultura y la conservación ambiental. Estudios geológicos adicionales en esta región proporcionarían una visión más completa de su compleja historia geológica y su relación con las características geográficas y geodinámicas más amplias del territorio peruano. (Lázaro, 2018, pp. 20-21). (ver figura 2)

Figura 2. Columna Estratigráfica Regional.



Fuente: Jorge Eduardo Lázaro Maguina, 2018.



1.2.2. Geología local

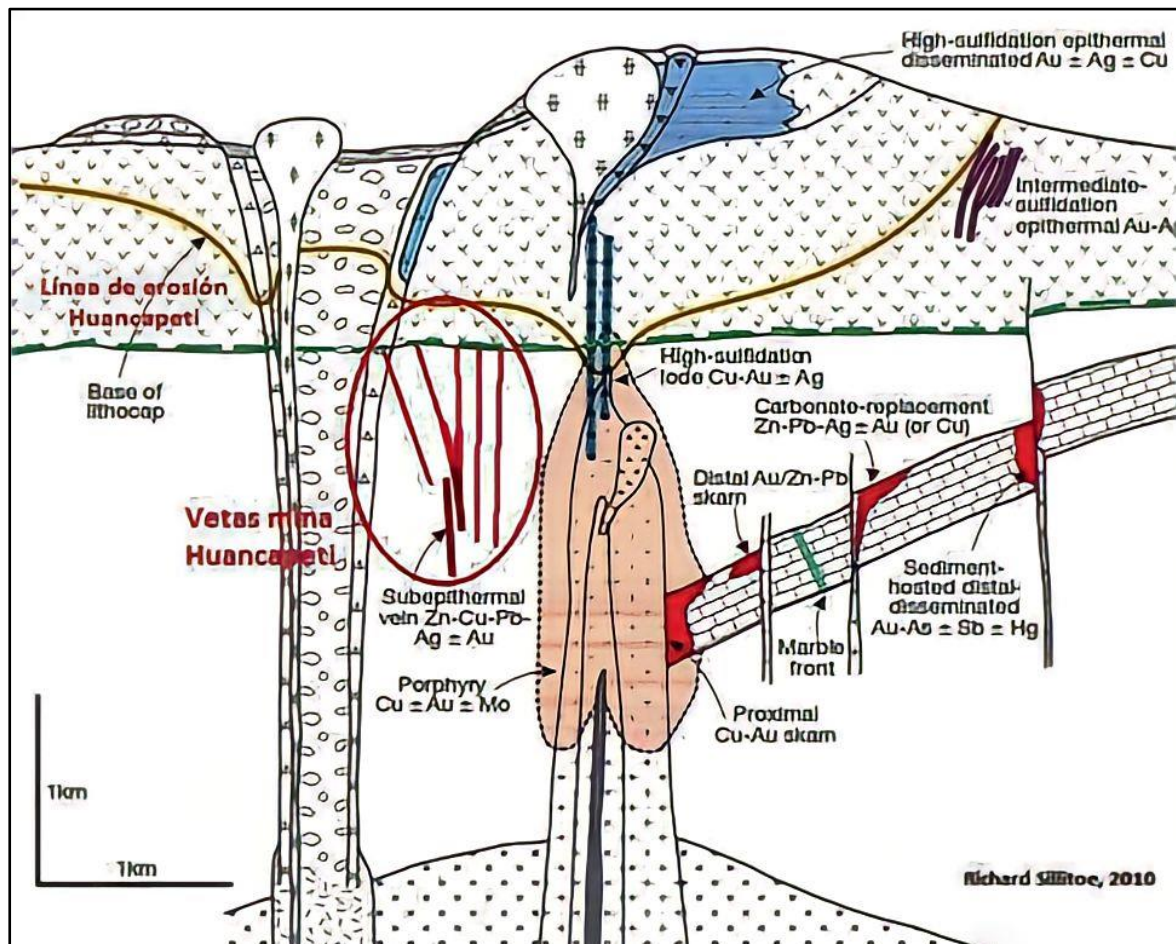
En esta región, se distinguen dos estructuras importantes, el Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra, el Centro Volcánico Hércules se encuentra en el cerro Tarugo y está delimitado por las quebradas Carán y Hércules, de este centro volcánico han surgido lavas andesíticas y brechas piroclásticas, que reposan en discordancia angular sobre rocas Cretáceas y volcánicos Calipuy, en el interior de la estructura semicircular del Centro Volcánico Hércules, se encuentran diferentes formaciones rocosas, como el Pórfido Tarugo de composición dacítica y el Pórfido Pincuylo. (Henostroza, 2022)

Alrededor de esta estructura, se han emplazado otros minúsculos stocks, como la Dacita Hércules (conocida como Tufo Hércules) en el cerro Pucará, con diques al norte y al sur; el Pórfido Huancapeti cerca del filo de la fractura circular, el Pórfido Bellota Maguiña al oeste de la coincidencia de las quebradas Hércules y Carán, y el Pórfido Señor de Burgos y Pórfido Olga, ambos con una composición parecido al de Tarugo, los impulsos magmáticos en el interior del Centro Volcánico Hércules han determinado el patrón de fracturamiento principal, con fracturas en el rumbo N 30° W, especialmente en los contactos del dique Dacítico (tufo), que fueron afectados por el fallamiento principal de tipo Tarugo, Wilson. (Henostroza, 2022)

Esto se asocia con un sistema de fracturas relacionado tipo Huancapeti. Fuera del centro volcánico, se encuentran fracturas tensionales de tipo Nebraska, Carpa, Félix II, San Arturo, Santa Deda, Lorena, entre otras, que

siguen un patrón de distribución más radial. En cuanto al Stock Collaraca, se encuentra en el pico homónimo y posee una formación aproximadamente circular. Este stock es porfirítico y de composición dacítica. Se extiende a los dos extremos de la quebrada Ismopata y da origen a numerosos diques y diques capas (sills) que se extienden hacia Jinchis y Florida, todo ello en los volcánicos Calipuy. Los estudios geológicos detallados de estas estructuras son esenciales para comprender su génesis y evolución en el contexto geodinámico regional y para abordar cuestiones relacionadas con la conservación de recursos naturales y la gestión del territorio. (Gómez, 2017, pp. 12-14)

Figura 3. Ubicación del yacimiento de Huancapeti en el modelo geológico de Richard Sillitoe



Fuente: Adaptación de Oscar Tito Avalos Asillo, 2017.

1.2.3. Geología estructural

En el tramo occidental de la Cordillera de los Andes se observa una estructura de fallamientos inversos con dirección principal "NW-SE" causado por esfuerzos compresivos "E-W", esto ha generado anticlinales y sinclinales que afectan la secuencia lito-estratigráfica, también se han desarrollado estructuras de fallas normales secundarios, con sentidos "NE-SW" y "NW-SE" de elevado ángulo de buzamiento. (Henostroza, 2022)

En el seno de la Cordillera Negra se definen tres tipos de estructuras: fallas, pliegues y estructuras circulares, incluyendo centros volcánicos, los sistemas esenciales de vetas presentan dirección "NW-SE", relacionados con una tectónica inicial, posteriormente, se desarrollaron dos sistemas principales de fallas en el área, la fundamental tiene dirección "NE-SW" y se asocia con la quebrada principal "Quebrada Hércules", con un flujo de rumbo sinistral, otra estructura desarrollada está asociada a un intenso diaclasamiento vertical de orientación "E-NE", mientras que otro sistema de diaclasamiento menos desarrollado presenta una orientación "W-NW", además, se observa una marcada "pseudo-estratificación de bajo ángulo" que crea superficies de decaimiento en todo el territorio. (Henostroza, 2022)

Las fallas se dividen en dos sistemas principales. El primero, denominado "Sistema Andino", tiene una dirección "NW-SE" y ha dominado la transformación andina y la geodinámica de las cuencas del Mesozoico, el segundo sistema de fallas, de orientación "NE-SW", se ubica entre los sistemas de fallas Huanllac-Churin y Huaraz-Recuay. (Henostroza, 2022)

Estas parecen ser fallas de cizalla originadas por el desplazamiento transcurrente de las fallas de rumbo andino, las estructuras circulares están alineadas en orientación "NW-SE" y se encuentran fundamentalmente entre el sistema de fallas Huaraz-Recuay y el sistema de fallas Huanllac-Churin, estas estructuras corresponden a centros volcánicos que fueron fuentes de emisión de lavas del arco magmático del grupo Calipuy. (Henostroza, 2022)

Manifiesta un alargamiento NE-SW y su emplazamiento parece estar relacionado con las fallas tensionales originadas en un sector de cizalla transcurrente con desplazamiento dextral. Este fenómeno ocurrió durante un periodo en la que conocidos yacimientos como Yanacocha, El Galeno, Michiquillay y Minas Conga se encontraban en la región de Cajamarca.

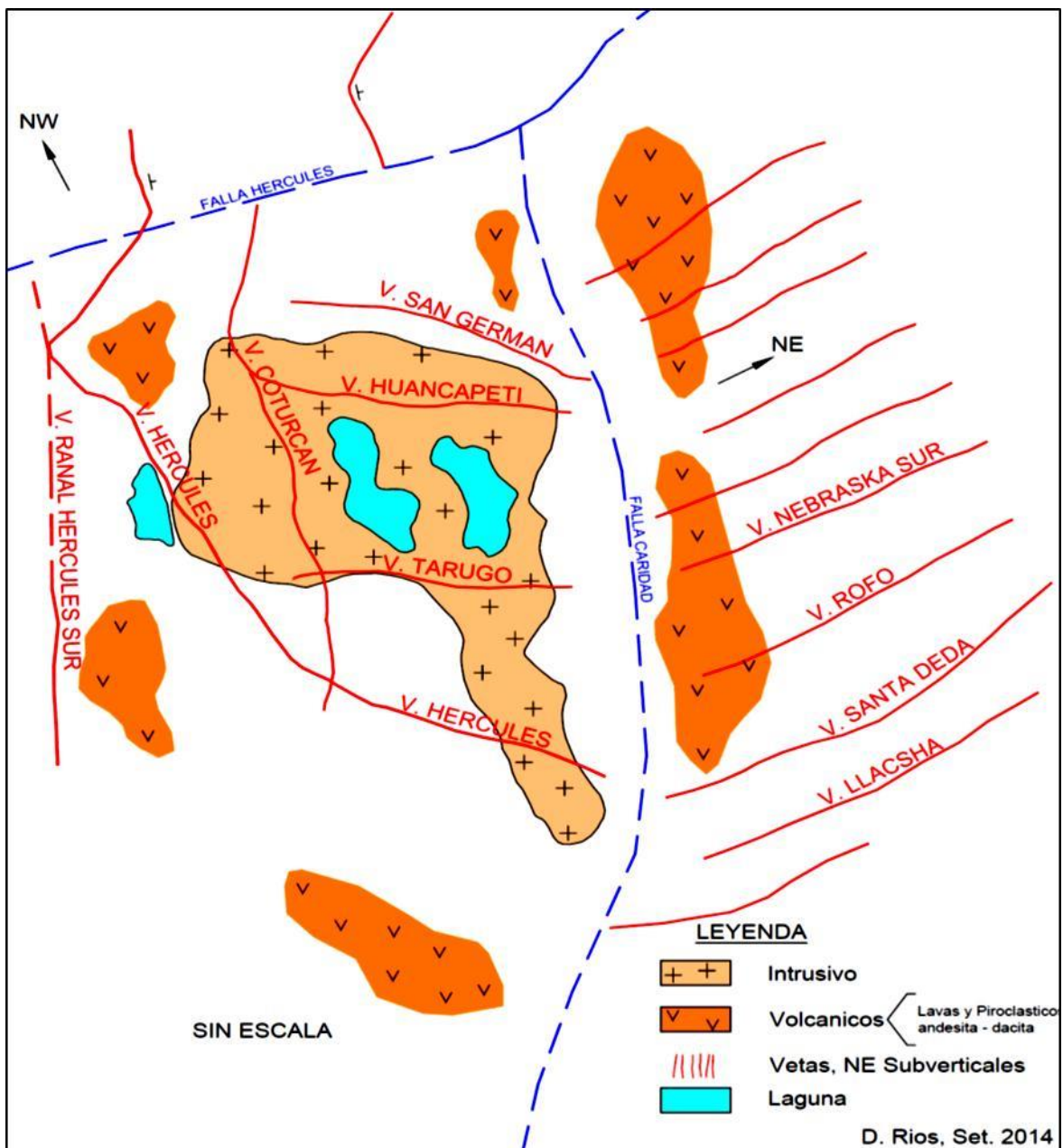
Entre las estructuras principales se destacan el Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra, el Centro Volcánico Hércules se ubica en la colina Tarugo, delimitado por las quebradas Carán y Hércules, allí se han identificado lavas andesíticas y brechas piroclásticas reposando en discordancia angular sobre rocas Cretáceas y volcánicos Calipuy, en su interior se encuentran el Pórfido Tarugo de formación dacítica y otros pequeños stocks que son la Dacita Hércules y el Pórfido Huancapeti. (Henostroza, 2022)

El modelo de fracturamiento principal en este centro volcánico es de rumbo N 30° W, asociado con un sistema de fracturas relacionado de tipo Huancapeti, las fallas Señor de Burgos, Hércules, Tucto y otras desplazan las fracturas NW-SE en dirección dextrógiro, y en transcurso de la falla Hércules se encuentran minúsculas formaciones intrusivos de brecha,

turmalina, cuarzo y pirita, por otro lado, el Stock Collaracra se localiza en el cerro homónimo, con una forma aproximadamente circular. (Lázaro, 2018)

De allí salen numerosos diques y diques capas (sills) que se extienden hacia Jinchis y Florida, y se encuentra emplazado en los volcánicos Calipuy. (Lázaro, 2018, pp. 26-29).

Figura 4. Esquema Vista en Planta – Geología Estructural



Fuente: Jorge Eduardo Lázaro Maguiña, 2018.

1.2.4. Geología económica

En esta región, se distinguen dos estructuras fundamentales, el Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra, el Centro Volcánico Hércules se encuentra en el pico Tarugo y permanece delimitado por las quebradas Carán y Hércules, de este centro volcánico se originaron lavas andesíticas y brechas piroclásticas, que yacen en discordancia angular sobre rocas Cretáceas y volcánicos Calipuy. (Henostroza, 2022)

En el seno de la estructura semicircular del Centro Volcánico Hércules, se encuentran diferentes formaciones rocosas, como el Pórfido Tarugo de formación dacítica y el Pórfido Pincuyillo. Alrededor de esta estructura, se han emplazado minúsculos stocks, como la Dacita Hércules (conocida como Tufo Hércules) en el pico Pucará, con diques con orientaciones al norte y al sur; el Pórfido Huancapeti cerca del extremo de la fractura circular, el Pórfido Bellota Maguiña al oeste de la coincidencia de las quebradas Hércules y Carán, y el Pórfido Señor de Burgos y Pórfido Olga, ambos con una formación parecido al de Tarugo. (Henostroza, 2022)

Aquellos impulsos magmáticos en el interior del Centro Volcánico Hércules han determinado el patrón de fracturamiento principal, mediante fracturas en el rumbo N 30° W, especialmente en los contactos del dique Dacítico (tufo), que fueron afectados por el fallamiento principal de tipo Tarugo, Wilson, esto se asocia con una estructura de fracturas relacionados del tipo Huancapeti, fuera del centro volcánico, se encuentran fracturas tensionales de tipo Nebraska, Carpa, Félix II, San Arturo, Santa Deda,

Lorena, entre otras, que siguen un patrón de distribución más radial.
(Henostroza, 2022)

En cuanto al Stock Collaracra, se encuentra en el pico homónimo y posee una forma aproximadamente circular. Este stock es porfirítico y de composición dacítica, se extiende a los dos extremos de la quebrada Ismopata y da origen a considerables diques y diques capas (sills) que se dispersa hacia Jinchis y Florida, todo ello en los volcánicos Calipuy.
(Henostroza, 2022)

Los estudios geológicos detallados de estas estructuras son esenciales para comprender su génesis y evolución en el contexto geodinámico regional y para abordar cuestiones relacionadas con la conservación de recursos naturales y la gestión del territorio. (Gómez, 2017)

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales:

De **Laire (2021)** en su tesis titulada “**Análisis de sensibilidad de la estabilidad de taludes para tranques y embalses de relave utilizando el método de equilibrio límite**”, en Santiago de Chile. El propósito fundamental de este trabajo es realizar un análisis de sensibilidad sobre la estabilidad de taludes significativos de tranques y embalses de relaves, estimando cuatro parámetros críticos: resistencia al corte de los materiales del muro, geometría, nivel freático y coeficientes sísmicos. Se busca categorizar los efectos de estos parámetros en la estabilidad de los taludes mediante la definición de 36 casos de estudio por estructura. El estudio consta de dos análisis realizados en programas computacionales. El primero se trata de un análisis de flujo que proporciona las presiones de poros y flujos dentro del muro de las estructuras. El segundo es un análisis de estabilidad de taludes, donde se analizan tres tipos de fallas: una falla global de tipo bloque, una falla global circular y una falla superficial circular. Los resultados del análisis proporcionan índices de confiabilidad, probabilidades de falla y factores de seguridad promedio, mínimo, máximo y sus desviaciones estándar. También se presentan esquemas que indican la superficie de deslizamiento crítica. Mediante estos resultados,

se obtienen categorizaciones de los parámetros críticos que varían según el tipo de falla o estructura evaluada. Se destacan casos que presentan factores de seguridad mayores al mínimo permitido y probabilidades de fallas mayores a las recomendadas, lo que destaca la importancia de los análisis de confiabilidad.

Carvajal (2018) en su tesis titulada “**Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves**”, en Santiago de Chile. El objetivo principal de este trabajo es proponer una metodología para determinar el nivel de estabilidad física de depósitos de relaves en Chile, en el contexto del Programa Tranque de CORFO, que busca tecnologías para el monitoreo en línea de estos depósitos. La metodología se encuentra constituido de tres módulos, cada uno aumentando en dificultad. El primero es una Evaluación Cualitativa que asigna puntajes a características físicas fáciles de evaluar. Si el análisis es bajo, se pasa al segundo módulo, Verificación de Parámetros Críticos para cada mecanismo de falla. Si los parámetros se encuentran en bajo el umbral definido, se procede al último módulo, Determinación del Índice de Estabilidad Física, que se calcula mediante un Árbol de Falla y evalúa la sensibilidad del Índice a cambios en sus causas raíces. Este enfoque persiste en analizar en su totalidad la condición de estabilidad física de los depósitos de relaves, incorporando propiedades de evaluación parecidos a reportes existentes, además de representar el estado del arte en la estabilidad física de estos depósitos. El tercer módulo, en particular, presenta una herramienta con capacidad predictiva, que es novedosa en el campo actual.

Reyes (2019) en la tesis titulada “**Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización**”, en Tunja-Colombia tiene por objetivo analizar las condiciones de estabilidad de diferentes taludes utilizando técnicas de revegetalización, basándose en un programa piloto previo realizado por el Instituto Nacional de Vías en 2017. El proyecto seleccionó cuatro taludes con problemas de estabilidad en diferentes regiones de Colombia, con el propósito de fomentar la ejecución de métodos adecuados para la estabilización de estos taludes según sus propiedades geológicas y geomorfológicas. Se evaluó y seleccionó el método de revegetalización más adecuada para cada talud, y posteriormente se procedió a llevar a cabo el proceso de estabilización en estos sitios. Profesionales de INVIAS evaluaron y supervisaron el proceso, y se asignó un gestor de proyecto para el análisis del talud ubicado en Boyacá. Los cuatro taludes seleccionados, ubicados en los departamentos de Caquetá, Huila, Risaralda y Boyacá, fueron identificados para su estudio. Se recopilaron datos sobre su ubicación, aspectos climatológicos, geológicos y topográficos, y se realizaron exploraciones del lugar para caracterizarlos. Antes de la revegetalización, se puso en marcha un análisis de estabilidad en los taludes de Boyacá y Risaralda, determinando parámetros de diseño como ángulo de fricción, cohesión y peso unitario. Estos datos se emplearon para la modelación de los taludes en los programas MIDAS GTS NX y SLIDE, con el fin de observar su comportamiento y determinar el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Con la información obtenida, se determinó la técnica de revegetalización más adecuada para cada talud, y

se realizó un seguimiento de la ejecución de los proyectos mediante visitas de campo para verificar el estado y la efectividad de la cobertura vegetal. Finalmente, se llevó a cabo un análisis costo-beneficio que evaluó el costo de la revegetalización en cada talud y los beneficios generados por la estabilización en cada sitio de estudio.

Antecedentes Nacionales:

Castro (2022) en su tesis titulada “**Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excélsior, Cerro de Pasco – 2021**”, tiene como objetivo analizar la estabilidad de taludes cercanos a la ciudad de Cerro de Pasco, utilizando el Método Bishop. La investigación se enfocó en determinar el grado de estabilidad de los taludes de la desmontera bajo las condiciones mecánicas y de diseño actuales. Se calcularon los factores de seguridad para posibles superficies de falla esférica de talud, encontrando valores muy bajos a los requeridos (FS) para las condiciones de análisis, lo que indica que los taludes manifiestan condiciones inestables y representan un alto riesgo de rotura y accidentes. Además, se realizaron manipulaciones y simulaciones de fuerzas actuando sobre las secciones del talud, lo que permitió ubicar valores de factores de seguridad aceptables y plantear modificaciones en el diseño actual del talud. Se utilizó el método de análisis Bishop simplificado, lo que permitió aclarar a las preguntas sobre por qué ocurren y en qué condiciones ocurren los problemas de estabilidad. La población de estudio consistió en todos los taludes de la desmontera Excélsior, y se seleccionaron los taludes más críticos en términos de estabilidad mediante

muestreo por conveniencia. Los resultados del estudio mostraron que los taludes presentan factores de seguridad entre 1,24 a 1,48 en condiciones estáticas y 0,88 a 1,07 en condiciones pseudoestáticas, lo que indica que están por debajo del nivel óptimo requerido. Mediante el método Bishop, se pudo predecir que los factores de seguridad óptimos para la estabilidad física de los taludes deberían estar entre 1,62 a 2,63 en condiciones estáticas y 1,11 a 1,76 en condiciones pseudoestáticas, lo que confirmó la validez de la hipótesis de investigación.

Ayala (2022) en su tesis titulada **“Impactos geotécnico-ambientales del proyecto minero El Galeno en cabeceras de las subcuencas Chailhuagón y Chanche provincia Celendín - Región Cajamarca”**, la investigación se enfoca en analizar los impactos geotécnico-ambientales que tendrá el proyecto minero El Galeno en las cabeceras de las subcuencas Chailhuagon y Chanche. El objetivo principal fue evaluar los impactos geotécnico-ambientales que resultarán de la implementación de la infraestructura minera en diversas variables geoambientales, como geoestructuras, geoformas, hidrología y geohidrología. Se utilizó la matriz de impactos ambientales junto con el análisis cuantitativo, utilizando imágenes satelitales obtenidas a través de sensores remotos, como Google, y procesadas con el programa SAS PLANET y ARGIS, georreferenciadas con coordenadas UTM. Los resultados mostraron que los impactos en las variables geoambientales son mayormente negativos. El resultado final de la investigación es una matriz cuantitativa de impactos en las tres subcuencas, que considera la relación entre la implantación del proyecto y las variables impactadas y sus componentes.

Este instrumento puede ser utilizado por la empresa minera El Galeno para medir datos reales de los impactos geoambientales, permitiendo un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) consistente, real y aceptable, lo que facilitará la ejecución del proyecto.

Condezo (2019) en su tesis titulada “**Análisis de estabilidad de taludes, empleando métodos aproximados de dovelas, en depósito de desmonte de mina Excélsior – Pasco**”, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar los resultados del análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos aproximados de dovelas en el depósito de desmonte de mina Excélsior - Paseo. La población de estudio incluyó los taludes de la progresiva 0+000 a 1+050 del depósito de desmonte de mina Excélsior - Paseo. Se utilizó un muestreo no probabilístico o intencional, seleccionando muestras de tres zonas dentro de estas progresivas: S1 de la prog. 0+100 a 0+200, S2 de la prog. 0+800 a 0+900 y S3 de la prog. 0+900 a 1+050. La conclusión fundamental de esta investigación fue que los resultados del análisis de estabilidad de taludes utilizando métodos aproximados de dovelas en el depósito de desmonte de mina Excélsior - Paseo fueron mayores a 1.5 para el análisis estático y 1.25 para el análisis sísmico. Además, se encontró que el método de Bishop Simplificado arrojó los valores más altos para el factor de seguridad, cumpliendo con el mínimo exigido por la norma, mientras que los métodos de Fellenius y Janbu mostraron los valores más bajos.

Antecedentes Locales:

Cueva (2022) en su tesis titulada “**Investigación y caracterización geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic de la U.M. Huanzala – 2021**”, Ancash-Perú, el objetivo general de esta investigación es llevar a cabo un estudio y caracterización geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021. El resultado primordial obtenido fue el análisis de la sección A-A', donde se encontró que la ubicación de la falla es global y de tipo no circular. El factor de seguridad (FS) en condiciones estáticas ($a = 0$ g) es de 2.119, mientras que en condiciones pseudoestáticas ($a = 0.16$ g) es de 1.327, lo que demuestra que el depósito es estable y no existe riesgo de falla. Además, se determinó que el depósito de Relaves Chuspic está compuesto por gravas y arenas compactas a semi compactas, dispuestas sobre un suelo mejorado en una matriz morrénica. Debajo de este estrato se encuentra el macizo rocoso a una profundidad aproximada de 10 a 17 metros.

Mejía (2020) en su tesis titulada “**Análisis de sensibilidad para evaluar la estabilidad física del dique principal del depósito de relaves Santa Catalina de la compañía minera Quiruvilca S.A. 2017**”, Ancash-Perú, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la estabilidad física del dique principal del depósito de relaves Santa Catalina. Para lograrlo, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para determinar cómo el factor de seguridad se ve afectado por cambios en los

parámetros de resistencia, como cohesión y ángulo de fricción, así como en los parámetros de coeficiente sísmico y relación de presión de poros de los materiales del dique principal, que pueden ser alterados por fenómenos naturales. Se utilizaron dos programas computarizados: Slide v. 6.0 del Rocscience para el análisis de estabilidad de taludes y SIMULIA Isight para automatizar el cálculo del factor de seguridad. Se realizaron un total de 387 simulaciones de análisis de estabilidad en dos secciones críticas y desfavorables del dique principal. Estas simulaciones se basaron en la consideración de fallas globales de tipo circular bajo condiciones estáticas y pseudoestáticas. Los resultados del análisis indican que el dique principal del depósito de relaves Santa Catalina es estable. Además, se concluyó que el factor de seguridad es más sensible a cambios en la relación de presión de poros debido al aumento del nivel freático en el dique principal.

2.1.2. Fundamentación teórica

2.1.2.1. Estudio geotécnico

El estudio geotécnico es una investigación detallada del comportamiento y propiedades del suelo y subsuelo en un área determinada. Mediante técnicas de muestreo y análisis, se evalúan características geológicas, mecánicas e hidráulicas del suelo. Los resultados se utilizan para determinar la capacidad portante del terreno, su estabilidad ante cargas y movimientos, y su permeabilidad. Esta información es esencial para el diseño seguro y eficiente de proyectos de ingeniería civil, como cimentaciones de

edificios, carreteras, presas y túneles. También se emplea en la planificación y mitigación de riesgos geotécnicos, como deslizamientos de tierra, hundimientos y socavones. (Chat GPT, 2023).

2.1.2.2. Estabilidad de taludes

Según Paredes, se define como talud, a una masa de suelo con una superficie externa inclinada con respecto a la horizontal, cuando el talud se forma de manera natural, sin la intervención del hombre, se denomina ladera natural o ladera. (Reyes, 2019)

Cuando la inclinación en la masa de suelo es generada por la intervención de la actividad humana, excavaciones o rellenos, se denomina talud, también lo conceptualizan como “cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de suelo”, pero también menciona que no se puede tomar a la ligera porque se trata de una estructura sometida a muchas fuerzas, lo que la hace compleja y se deben hacer estudios de mecánica de suelos, movimientos de aguas, mecánica de rocas y evaluar el papel de la vegetación. (Reyes, 2019)

Como otra parte de su denominación, depende el origen del proceso erosivo, si el talud se forma naturalmente, se conoce como ladera, si es de origen antrópico, según el corte se realiza una excavación y se forman taludes artificiales son los lados inclinados de los terraplenes, por otro lado, Rico y del Castillo, citados por

Escobar y Duque (2016) comentan que son estructuras de tierra producidas por los cortes o excavaciones, que se realizan en proyectos de ingeniería y a diferencia de las laderas, éstos necesitan diferentes materiales que se utilizan según la génesis del suelo o el origen del material, la circunstancia de formación, el clima y lo más importante la influencia del hombre. (Reyes, 2019)

La falla de un talud se presenta tanto en taludes naturales como en los construidos por el hombre, muchos proyectos de ingeniería resultan afectados o afectan la estabilidad de taludes al producir modificaciones en la topografía, condiciones de flujo de agua, pérdida de resistencia, cambios en el estado de esfuerzos, por mencionar algunos factores, en este caso, la finalidad de los análisis de estabilidad de taludes es estimar la posibilidad de falla de éstos al provocarse un deslizamiento de la masa de suelo que lo forma, buscando que el diseño de excavaciones y rellenos que den lugar a un talud o afecten la estabilidad de una ladera se realicen de forma segura y económica. (Reyes, 2019)

El análisis convencional de estabilidad de taludes en dos dimensiones busca el determinar la magnitud de las fuerzas o momentos actuantes (que provoquen el movimiento) y determinar la magnitud de las fuerzas o momentos resistentes (que se opongan al movimiento) que actúan en los suelos que forman al talud, para lograr lo anterior se calcula la relación entre las fuerzas o momentos resistentes y las fuerzas o momentos actuantes

obteniendo un factor seguridad que está afectado por las magnitudes de los parámetros que le dieron origen, por lo cual, a todo factor de seguridad intrínsecamente va ligado un grado de incertidumbre. (Reyes, 2019).

2.1.2.3. Factores que influyen en la estabilidad de un talud

La falla de un talud se origina por el incremento en los esfuerzos actuantes o en un descenso de resistencia al esfuerzo cortante del suelo, esta variación, en general, es causada por efectos naturales y actividades humanas, los factores principales que afectan la estabilidad de un talud, natural o diseñado son: Erosión, Lluvia, Sismo, Aspectos geológicos, Cargas externas, Excavaciones y/o rellenos y Condición de presión de poro y vaciado rápido. (Reyes, 2019, p. 27).

2.1.2.4. Tipos de falla de taludes

Toda masa de suelo que constituya un talud natural, terraplén o corte, presenta una tendencia a desplazarse hacia la parte baja y al frente por efecto de su propio peso, cuando la resistencia al esfuerzo cortante del suelo contrarresta esa tendencia, el talud es estable; en caso contrario, se produce un deslizamiento. (Reyes, 2019)

Según el Manual para la inspección visual de obras de estabilización (INVIAS, 2006, pág.1), los factores que intervienen en los procesos de inestabilidad se pueden clasificar como internos

y externos; dentro de los internos se encuentran aquellas características que definen la susceptibilidad de la ladera, Sin embargo, los factores externos pueden eventualmente construirse como agentes contribuyentes. La tabla 2 muestra la clasificación general de los factores.

Tabla 2. Factores inherentes a la estabilidad de Taludes

Factores Internos	Geológicos Geomorfológicos Geotécnicos Vegetación
Factores Externos	Climatológicos Sísmicos Antropogénicos

Fuente: Rodríguez, 2006, citado por Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

La distribución de los desplazamientos de falla de taludes se clasifica en seis grupos principales:

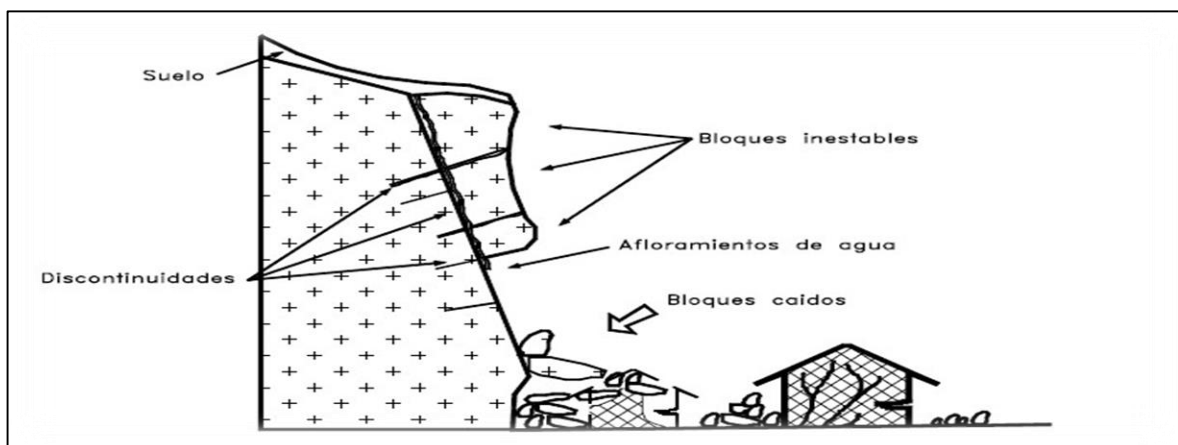
1. **Caídas:** Masa que se desacopla de un talud de pendiente pronunciada en el curso de una superficie con poco o ningún desplazamiento de corte y cae normalmente a través del aire por caída libre, saltos o rodando. (Reyes, 2019)
2. **Volcamientos:** Movimiento en el que la masa gira o voltea sobre un eje.
3. **Deslizamientos:** Desplazamiento de una masa de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla definida.
4. **Propagación lateral:** Desplazamiento de una masa en dirección horizontal a lo largo de una superficie de falla.

5. Flujos: Movimientos en los que la masa se desplaza como un fluido, ya sea lentamente o rápidamente.

6. Movimientos complejos: Combinación de varios tipos de movimientos de falla mencionados anteriormente.

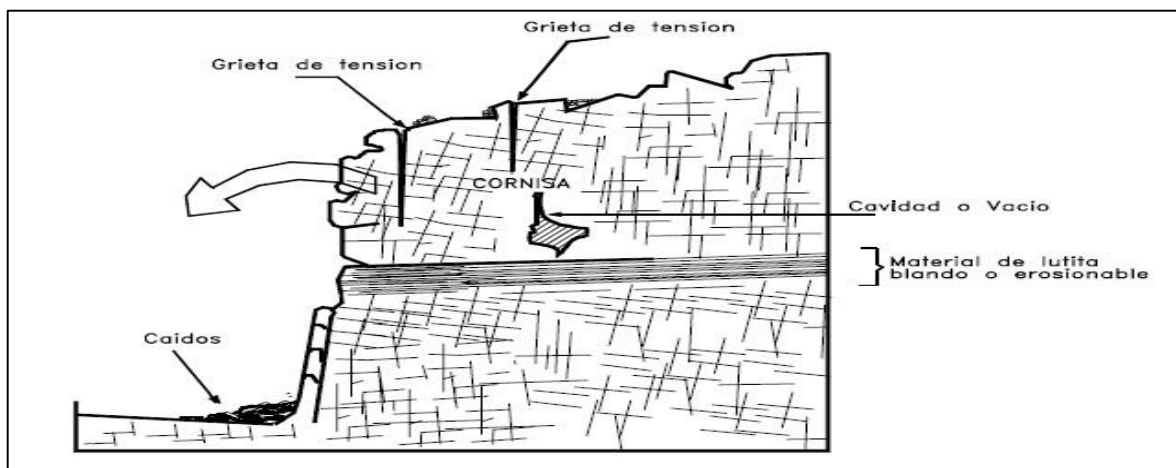
En particular, las caídas ocurren cuando una masa de alguna dimensión se despega de un talud con una pendiente fuerte y cae normalmente en el aire, ya sea por caída libre, saltos o rodando (Reyes, 2019), esto se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Caídas de bloques por gravedad en roca fracturada



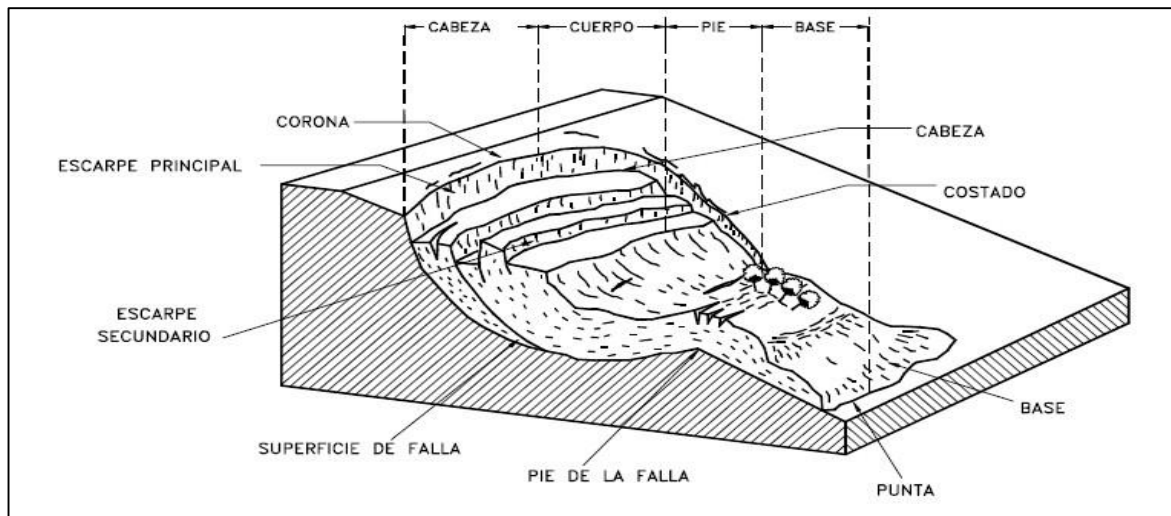
Fuente: Suárez, 1998, citado por Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

Figura 6. Volteo o inclinación en materiales residuales



Fuente: Suárez, 1998, citado por Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

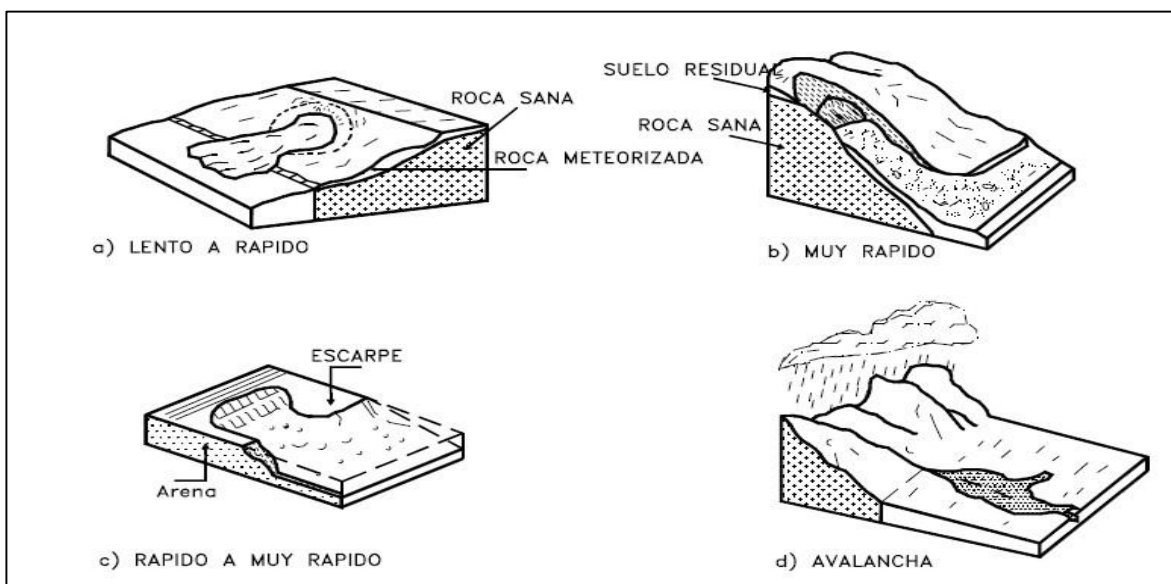
Figura 7. Nomenclatura de deslizamiento



Fuente: Suárez, 1998.

La aparición de desplazamientos está vinculada con la congestión de materiales bajo la superficie. Suelos con alta capacidad de absorción y deslizamientos iniciales pueden formar flujos cuando se satura de agua, causando movimientos rápidos. La saturación es esencial para analizar la ocurrencia de flujos y evaluar la estabilidad de taludes y laderas. (Reyes, 2019, pp. 27-28).

Figura 8. Nomenclatura de deslizamiento



Fuente: Suárez, 1998, citado por Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

2.1.2.5. Metodologías para el Análisis de la Estabilidad

Entre las diferentes técnicas disponibles para analizar caídas de roca y flujos, se destacan los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos, entre otros. Los métodos numéricos proporcionan la mejor aproximación en detalle para estimar la estabilidad en la mayoría de los casos de taludes. Estos métodos son más complejos, pero ofrecen resultados más precisos y detallados. Por otro lado, los métodos de límite de equilibrio son más simples de utilizar y permiten analizar casos de falla traslacional, falla rotacional, fallas de inclinación ("Toppling") y fallas en cuña. Cuando se enfrenta a sistemas de falla complejos, es recomendable utilizar métodos de modelación que consideren los elementos que causan los movimientos, permitiendo un análisis más completo y realista. Además, es posible integrar al análisis modelaciones de hidrogeología y las solicitaciones sísmicas, lo que aporta una mayor comprensión y precisión en la evaluación de la estabilidad de los taludes (Reyes, 2019, p. 29).

1. Métodos empíricos. - Se fundamentan en observaciones realizadas en el terreno y en la vivencia previa de los diseñadores, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas específicas de la ubicación del taludes, estos métodos aceptan un análisis sencillo y aproximadamente rápido, siempre y cuando las condiciones reales se ajusten a las hipótesis en las que se establecen, sin embargo, suelen tener una

alta incertidumbre debido a la falta de exploración detallada, ensayos de laboratorio o cálculos inflexibles de estabilidad. (Reyes, 2019)

El método de observaciones de campo ofrece un resumen de recomendaciones para las inclinaciones de cortes en variados materiales, empleado en el diseño empírico de taludes para vías terrestres, la tabla fue elaborada hace más de tres décadas y tiene por prioridad los requisitos habituales de las carreteras, no obstante, se aconseja usarla con cautela y comprobar sus resultados empleando una metodología más rigurosa para obtener conclusiones más precisas. (Reyes, 2019)

2. Métodos Límite de equilibrio. – Este método de análisis de estabilidad de taludes utiliza diversos parámetros, como la topografía del talud, la estratigrafía, el ángulo de fricción, la cohesión, el peso específico aparente, los niveles freáticos y las cargas externas, una limitación de este método es que proporciona un único factor de seguridad sin considerar el mecanismo de inestabilidad, y los resultados se diferencian según el método utilizado, además, no engloba el análisis de las deformaciones, el análisis de límite de equilibrio facilita lograr un factor de seguridad o determinar los valores de resistencia al corte justo en el momento de la falla, para esto, se determinan las propiedades de resistencia al corte de los suelos, las

presiones de poros y otras propiedades del suelo y el talud, para hallar el factor de seguridad. (Reyes, 2019)

Este estudio busca determinar si los suelos del talud tienen suficiente resistencia para aguantar los esfuerzos de corte que podrían causar la falla o deslizamiento. El factor de seguridad es un indicador utilizado por los ingenieros para conocer el nivel de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de diseño. Se puede expresar de diversas formas, como la relación entre la resistencia al corte y el esfuerzo cortante, o entre los momentos resistentes y los momentos actuantes. La mayoría de los sistemas de análisis asumen un criterio de "límite de equilibrio" y utilizan el criterio de falla de Coulomb a lo largo de una superficie para estudiar el equilibrio de un cuerpo libre. Se comparan las fuerzas resistentes calculadas con las disponibles del suelo o roca para obtener el factor de seguridad. En la tabla 3, se presentan otros métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de taludes. (Reyes, 2019).

Tabla 3. Listado de ecuaciones para cálculo de estabilidad.

Autor	Parámetros	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Taylor (1948)	Cu C, ϕ	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de Fricción.	Análisis no drenado, taludes secos solamente.
Bishop y Morgensten (1960)	ru C, ϕ	11-26,5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibsson y Morguesten (1960)	Cu	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencias en la superficie y Cu aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	ru C, ϕ	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	Cu C, ϕ , ru	0-90°	$\phi = 0$ Jambú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	Cu	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y Cu aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	C, ϕ	20-90°	Análisis Limite	
O' Connor y Mitchell (1977)	ru C, ϕ	11-26°	Bishop	Bishop y Morgensten (1960) extendido para incluir Nc=0.1
Hoek y Bray (1977)	C, ϕ C, ϕ	0-90° 0-90°	Círculo de Fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión, Análisis de bloque en tres dimensiones.

Fuente: (Suárez, (1998). Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

Tabla 4. Continuación. Listado de ecuaciones para cálculo de estabilidad

Autor	Parámetros	Inclinación de talud	Método analítico utilizado	Observaciones
Cousins (1978)	C, ϕ	0-45°	Círculo de Fricción.	Extensión del método de Taylor (1948)
Charles y Soares(1984)	ϕ	26-63°	Bishop	Envolvente de Falla no lineal de Mohr Coulumb
Barnes (1991)	ru C, ϕ	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgesten (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

Fuente: (Suárez, (1998). Yeffer Rodrigo Reyes Suárez, 2019.

2.1.2.6. Botadero de desmontes de mina

Un botadero de desmontes de mina es un sitio designado para la disposición controlada de materiales estériles o desechos rocosos generados durante la extracción de minerales. Estos desmontes pueden contener minerales no valiosos o materiales con bajos niveles de contenido útil. El proceso de extracción y beneficio de minerales genera grandes volúmenes de desechos que deben ser almacenados adecuadamente para evitar impactos ambientales negativos. Los botaderos de desmontes están diseñados para maximizar la estabilidad, minimizar la erosión y el drenaje ácido, y cumplir con regulaciones ambientales para garantizar la protección del entorno circundante y la salud pública. (Chat GPT, 2023).

2.1.2.7. Seguridad de un botadero de desmontes

La seguridad de un botadero de desmontes se refiere a la implementación de medidas y controles para garantizar la seguridad de los individuos, el medio ambiente y los establecimientos cercanos a este sitio de disposición de materiales estériles de la minería. Se busca prevenir accidentes y minimizar impactos negativos en la comunidad y el entorno. Para lograrlo, se consideran aspectos como el diseño y estabilidad del botadero, asegurando que esté construido de manera adecuada y que cumpla con criterios de ingeniería geotécnica. Además, se aplican prácticas de monitoreo continuo para detectar cualquier señal de deslizamientos, erosión o filtración que pueda afectar la seguridad. También es esencial contar con planes de contingencia y evacuación, así como un programa de capacitación y concientización para el colaborador responsable en la operación del botadero. La seguridad en un botadero de desmontes es un aspecto fundamental para el desarrollo responsable y sostenible de la industria minera. (Chat GPT, 2023).

2.1.3. Definición de Términos

- **Geotecnia:** Es la rama de la ingeniería civil que se enfoca en el estudio de los suelos y las rocas en relación con las construcciones y obras geotécnicas. (Chat GPT, 2023).

- **Botadero de desmontes:** Es un área destinada para el depósito y almacenamiento de los materiales de desecho y sobrantes de una mina, como rocas, suelos y minerales no aprovechables. (Chat GPT, 2023).
- **Estabilidad física:** Se refiere a la capacidad de un terreno, en este caso, el botadero de desmontes, para mantener su forma y estructura sin sufrir deslizamientos, colapsos o deformaciones. (Chat GPT, 2023).
- **Suelo:** Material de la superficie terrestre compuesto por partículas minerales, materia orgánica y agua. (Chat GPT, 2023).
- **Roca:** Material sólido y consolidado compuesto por minerales. (Chat GPT, 2023).
- **Análisis de estabilidad:** Proceso de evaluación para determinar la resistencia y comportamiento de una estructura o terreno frente a las fuerzas externas y condiciones del entorno. (Chat GPT, 2023).
- **Factor de seguridad:** Relación entre la resistencia de un suelo o estructura y los esfuerzos aplicados, utilizado para evaluar la estabilidad. (Chat GPT, 2023).
- **Esfuerzo cortante:** Fuerza que actúa tangencialmente en una superficie, que tiende a causar deslizamiento o deformación del material. (Chat GPT, 2023).
- **Cohesión:** Propiedad de un suelo para mantener sus partículas unidas debido a fuerzas de atracción entre ellas. (Chat GPT, 2023).

- **Ángulo de fricción interna:** Es el ángulo entre la superficie de falla de un suelo y la horizontal, que influye en la resistencia al corte del material. (Chat GPT, 2023).
- **Carga externa:** Cualquier fuerza o carga aplicada en el botadero de desmontes que puede afectar su estabilidad, como cargas de maquinaria, agua o carga sísmica. (Chat GPT, 2023).
- **Nivel freático:** Nivel del agua subterránea en el suelo o roca. (Chat GPT, 2023).
- **Cálculos de estabilidad:** Procedimientos matemáticos y numéricos utilizados para determinar la estabilidad de una estructura o terreno. (Chat GPT, 2023).
- **Mecánica de suelos:** Rama de la geotecnia que se enfoca en el comportamiento de los suelos y sus propiedades mecánicas. (Chat GPT, 2023).
- **Propiedades geotécnicas:** Características físicas y mecánicas de los suelos y rocas, como la densidad, permeabilidad, resistencia y compresibilidad. (Chat GPT, 2023).
- **Topografía del terreno:** Descripción y representación gráfica de las características físicas de la superficie terrestre, como pendientes y elevaciones. (Chat GPT, 2023).
- **Pendiente del talud:** Inclinación del botadero de desmontes, que influye en su estabilidad. (Chat GPT, 2023).

- **Erosión:** Proceso de desgaste y desprendimiento de suelos y rocas debido a agentes externos, como el agua y el viento. (Chat GPT, 2023).
- **Permeabilidad:** Capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros. (Chat GPT, 2023).
- **Compactación:** Proceso de aumentar la densidad del suelo mediante la aplicación de presión para mejorar su estabilidad y resistencia. (Chat GPT, 2023).
- **Estudio geológico:** Investigación detallada de la geología de la zona del botadero de desmontes para comprender la distribución y características de las rocas y suelos. (Chat GPT, 2023).
- **Análisis numérico:** Método computacional utilizado para resolver ecuaciones matemáticas complejas y modelar el comportamiento del suelo. (Chat GPT, 2023).
- **Deformación del terreno:** Cambios físicos y geométricos en el botadero de desmontes debido a fuerzas externas o internas. (Chat GPT, 2023).
- **Mina:** Lugar de extracción de minerales o recursos naturales de la tierra. (Chat GPT, 2023).
- **Falla:** Proceso de deslizamiento o colapso de un terreno debido a la falta de estabilidad o resistencia. (Chat GPT, 2023).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

La necesidad de realizar un estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan en el año 2023, con el objetivo de garantizar la estabilidad y seguridad en esta área de disposición de materiales estériles generados durante las operaciones mineras. El estudio geotécnico es esencial para evaluar y comprender las características geológicas y mecánicas del suelo y subsuelo presentes en el botadero. Se busca obtener información sobre su capacidad portante, resistencia a esfuerzos, comportamiento frente a cargas y condiciones climáticas, permeabilidad, entre otros aspectos relevantes. Esta información es fundamental para el diseño y el accionamiento de medidas adecuadas que aseguren la estabilidad y seguridad del botadero a lo largo del tiempo. El análisis de estabilidad física se enfoca en evaluar la estabilidad del botadero respecto a los fenómenos geotécnicos potenciales, como deslizamientos, hundimientos, erosión, y drenaje ácido, que podrían desencadenar situaciones de riesgo para las personas y el entorno circundante. Este análisis también permite identificar zonas críticas o puntos de falla en el botadero que requieran atención y mitigación para prevenir futuros desastres. En 2023, la seguridad se está impulsando como una prioridad para las industrias extractivas, incluyendo la minería. Los organismos reguladores y la comunidad exigen garantías de que las operaciones mineras se realicen de manera responsable y sostenible, reduciendo los impactos ambientales y conservando la salud y la tranquilidad de los individuos. En el caso particular de la Mina Coturcan, es imperativo abordar la

seguridad del botadero de desmontes debido a su relevancia en el proceso de disposición de materiales de desecho de la extracción de minerales. Los desmontes pueden contener materiales potencialmente peligrosos, como metales pesados o elementos tóxicos, que, de no ser manejados adecuadamente, podrían filtrarse al suelo o agua subterránea, generando riesgos para la salud humana y daños ambientales significativos. El resultado del estudio proporcionará información importante para diseñar e implementar medidas de mitigación y control, tales como sistemas de drenaje, revegetación, estabilización de taludes, entre otras, con el fin de mantener la seguridad y estabilidad del botadero a lo largo del tiempo.

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

En el año 2023, la Mina Coturcan enfrenta una realidad problemática relacionada con la seguridad de su botadero de desmontes. Este botadero es una zona importante para la disposición de materiales estériles y desechos generados durante las operaciones mineras. Sin embargo, la falta de un estudio geotécnico previo y un análisis de estabilidad física adecuado ha suscitado preocupaciones sobre la estabilidad y la seguridad a lo largo del tiempo de esta infraestructura. La carencia de información minuciosa sobre las características geológicas y mecánicas del suelo y subsuelo presentes en el botadero impide una comprensión precisa de su capacidad portante y su comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales cambiantes. Esto representa un riesgo potencial para la estabilidad de la masa de suelo o roca, lo que podría dar lugar a deslizamientos, hundimientos, erosión o drenaje ácido.

La falta de análisis de estabilidad física impide identificar zonas críticas o puntos de falla en el botadero que requieran atención y mitigación. Sin medidas adecuadas de prevención y control, los desechos mineros almacenados podrían filtrarse al suelo o al agua subterránea, resultando en posibles daños ambientales y riesgos para la salud humana. La realidad problemática del botadero de desmontes en la Mina Coturcan requiere abordarse con urgencia mediante la realización de un estudio geotécnico detallado y un análisis de estabilidad física. Estos procesos deben ser llevados a cabo por profesionales especializados, utilizando tecnologías avanzadas y modelos numéricos para obtener información precisa sobre el terreno y evaluar la respuesta del botadero ante diferentes escenarios. La implementación de medidas de mitigación y control basadas en datos científicos permitirá garantizar la seguridad y estabilidad del botadero, cumpliendo con los estándares ambientales y protegiendo la integridad de la comunidad y el entorno circundante. La solución efectiva de esta problemática es esencial para el desarrollo sostenible de la Mina Coturcan y para asegurar el bienestar de todas las partes involucradas en las operaciones mineras.

3.1.2. Formulación del Problema

3.1.2.1. Formulación del problema general

¿Cómo realizar el estudio geotécnico y el análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan para garantizar la seguridad – 2023?

3.1.2.2. Formulación de los problemas específicos

1. ¿Cuáles son los parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?
2. ¿Cuáles son las condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?
3. ¿Cómo determinar la estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?

3.1.3. Objetivos de la investigación.

3.1.3.1. Objetivo General.

Realizar el estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan para garantizar la seguridad – 2023.

3.1.3.2. Objetivos Específicos.

1. Determinar los parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.
2. Determinar las condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.
3. Realizar el análisis de estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.

3.1.4. Justificación e importancia

La justificación radica en lo importante que es asegurar la seguridad del botadero de desmontes y proteger el entorno y la comunidad circundante. Obtener información precisa sobre el suelo y subsuelo permitirá identificar riesgos potenciales, como deslizamientos y erosión, y diseñar medidas de prevención y control adecuadas. Garantizar la estabilidad del botadero asegura la adecuada disposición de materiales estériles y minimiza los impactos ambientales. La seguridad es esencial para cumplir con regulaciones, normadas por el estado peruano.

3.1.5. Alcances

El estudio de investigación se realizará en el botadero de desmontes de la Mina Coturcan durante el primer semestre del 2023.

3.1.6. Limitaciones de la investigación

La falta de información inicial del suelo de fundación del botadero de desmontes de la Mina Coturcan.

3.2. Hipótesis

Hipótesis General

El estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan garantizará su seguridad en el año 2023.

Hipótesis Especificas

1. Al realizar el estudio geotécnico, se obtendrán los parámetros necesarios para diseñar un depósito de desmontes seguro y estable en la Mina Coturcan.
2. Al llevar a cabo el análisis de las condiciones del sitio, se identificarán factores geológicos y ambientales que afectan la estabilidad del depósito de desmontes en la Mina Coturcan.
3. Al realizar el análisis de estabilidad física, se determinarán los riesgos potenciales de deslizamientos y erosión, permitiendo implementar medidas adecuadas para garantizar la seguridad del depósito de desmontes en la Mina Coturcan.

3.3. Variables

Variable Independiente (x):

- Estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan.

Variables dependientes (y):

- Seguridad.

Tabla 5. Operacionalización de variables.

Nombre de la variable	Dimensiones	Indicadores
V.I. Estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan.	Características geológicas y mecánicas del suelo y subsuelo	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia del suelo, capacidad portante, tipo y densidad del material, grado de compactación.
	Diseño y planificación del botadero de desmontes.	<ul style="list-style-type: none"> Configuración del botadero, sistema de drenaje, revegetación, medidas de prevención y control de erosión.
	Análisis de riesgos y fenómenos geotécnicos.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de deslizamientos, hundimientos, erosión, drenaje ácido y otros eventos potenciales.
	Metodología y técnicas de estudio.	<ul style="list-style-type: none"> Técnicas de muestreo y análisis de laboratorio, uso de modelos numéricos y geofísica en el análisis de estabilidad.
	Resultados y conclusiones del estudio.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la estabilidad actual del botadero, identificación de puntos críticos, recomendaciones para mitigar riesgos y mejorar la seguridad.
	Impacto y cumplimiento de regulaciones	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de estándares ambientales y normativas legales en la disposición de desmontes y gestión de riesgos.
	Viabilidad y factibilidad de implementación de medidas	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la factibilidad técnica y económica de las medidas propuestas para garantizar la seguridad.
V.D. Seguridad.	Estabilidad física del botadero.	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la estabilidad frente a deslizamientos, hundimientos, erosión y otros fenómenos geotécnicos.
	Riesgos potenciales y mitigación	<ul style="list-style-type: none"> Identificación de puntos críticos, análisis de posibles riesgos y medidas de prevención y control propuestas.
	Cumplimiento de estándares de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación del cumplimiento de regulaciones ambientales y normativas relacionadas con la disposición de desmontes.
	Sostenibilidad a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de la capacidad del botadero para mantener su estabilidad y seguridad a lo largo del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

Se utilizará una investigación de carácter aplicado para realizar un análisis geotécnico y evaluar la estabilidad física del área designada como botadero de desmontes en la Mina Coturcan. El objetivo principal radica en asegurar la integridad y seguridad de dicha zona durante el transcurso del año 2023

3.4.2. Nivel de la investigación

El enfoque de esta investigación se basa en el análisis descriptivo, con la finalidad de proporcionar una comprensión detallada de situaciones y sucesos. En este sentido, se llevará a cabo un estudio específico que abarca el análisis geotécnico y la evaluación de la estabilidad física del botadero de desmontes en la Mina Coturcan, con el propósito fundamental de salvaguardar la seguridad en el año 2023.

3.4.3. Método

En esta tesis se emplea el método científico porque se tiene una aplicación sistemática de pasos y procedimientos para alcanzar resultados fiables y objetivos. Involucra la formulación de hipótesis, la recopilación y análisis riguroso de datos geotécnicos, y la confrontación de resultados con la literatura existente. El método científico es esencial para garantizar la validez de las conclusiones y ofrecer recomendaciones prácticas para mejorar la estabilidad y seguridad del botadero. (Chat GPT, 2023).

3.4.4. Diseño de investigación

El estudio adopta un diseño no experimental y de corte transversal debido a su enfoque en el análisis geotécnico y la estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan, con el propósito de asegurar la seguridad en dicha área durante el año 2023.

3.4.5. Población y muestra

Población

La población del trabajo de investigación está constituida por todos los botaderos de la compañía minera Lincuna S.A.

Muestra

La muestra está constituida por el botadero de desmontes de la Mina Coturcan.

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este tipo de investigación, se aplicó las siguientes técnicas e instrumentos comunes:

- 1. Muestreo de suelos:** Para evaluar las características geotécnicas del terreno, se pueden utilizar diferentes métodos de muestreo, como el muestreo de testigos o la sustracción de muestras de suelo in situ.
- 2. Medición de parámetros geotécnicos:** Para determinar la resistencia y comportamiento del suelo, se pueden utilizar equipos como

penetrómetros, sondas piezométricas, y equipos para medir la densidad y la humedad del suelo.

- 3. Instrumentación geotécnica:** Se pueden emplear sensores y equipos de monitoreo como extensómetros, inclinómetros, acelerómetros, y células de carga para medir deformaciones, asentamientos y otros parámetros en el botadero.
- 4. Topografía:** La topografía puede ser crucial para obtener datos precisos sobre la geometría y características del botadero.
- 5. Análisis de imágenes:** El uso de imágenes satelitales, drones o fotografías aéreas podría ser útil para obtener una visión general y una representación visual del botadero y su entorno.
- 6. Entrevistas y cuestionarios:** Para evaluar aspectos relacionados con la seguridad y percepción de riesgo, se pueden realizar entrevistas o encuestas a los trabajadores y personal involucrado en la operación del botadero.
- 7. Análisis de registros históricos:** Se pueden analizar registros históricos de operaciones mineras, inspecciones anteriores y accidentes relacionados con la estabilidad del botadero.

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

El estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan es importante para garantizar la seguridad y estabilidad del botadero de desmontes en el año 2023. Este botadero es el lugar donde se depositan los materiales de desecho de las labores de extracción y procesamiento de la mina, y su estabilidad es fundamental para prevenir posibles deslizamientos y colapsos que podrían poner en riesgo la integridad de los obreros y las comunidades circundantes.

El estudio geotécnico consiste en la caracterización exhaustiva del terreno y los materiales presentes en el botadero. Se recolectarán datos sobre la composición del suelo, la topografía, la geología, las condiciones hidrogeológicas y la meteorología de la zona. Estos datos serán sometidos a un riguroso análisis para comprender cómo los factores naturales y humanos pueden afectar la estabilidad del botadero.

4.2. Parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan

Los parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan son las variables y características clave consideradas durante su planificación y construcción. El objetivo principal es garantizar la seguridad, estabilidad y sostenibilidad del botadero, cumpliendo con las normativas ambientales y de ingeniería aplicables. Entre los parámetros destacados se encuentran la capacidad y volumen del depósito, que deben calcularse para albergar de forma segura todos

los desmontes producidos durante la vida útil de la mina. La geometría del depósito, incluyendo ángulos de taludes y alturas, es esencial para su estabilidad y se basa en las condiciones geotécnicas y la resistencia del material.

Además, se debe diseñar un sistema de drenaje adecuado para impedir acumulamiento excesivo de agua, reduciendo así el riesgo de deslizamientos y colapsos. También se implementan alternativas para disminuir la erosión y acondicionar la lixiviación de sustancias contaminantes, como revestimientos geosintéticos y coberturas vegetales. El monitoreo y control son fundamentales, definiendo parámetros y frecuencia de evaluación para detectar problemas a tiempo y tomar acciones correctivas. La seguridad operativa también es prioritaria, estableciendo rutas de acceso seguras, señalización y protocolos para prevenir riesgos laborales.

Cada parámetro de diseño debe cumplir con las reglamentaciones locales, nacionales e internacionales vinculados con la gestión de desechos mineros y la protección ambiental. En síntesis, los parámetros de diseño aseguran una operación minera responsable y sostenible, garantizando la integridad del depósito de desmontes, la seguridad del personal y la conservación del medio ambiente. Su correcta implementación contribuye a la prevención de desastres y al desempeño de estándares de calidad en la industria minera.

4.2.1. Depósito de desmonte Coturcan

El depósito de desmontes de la unidad minera Coturcan tiene las siguientes características:

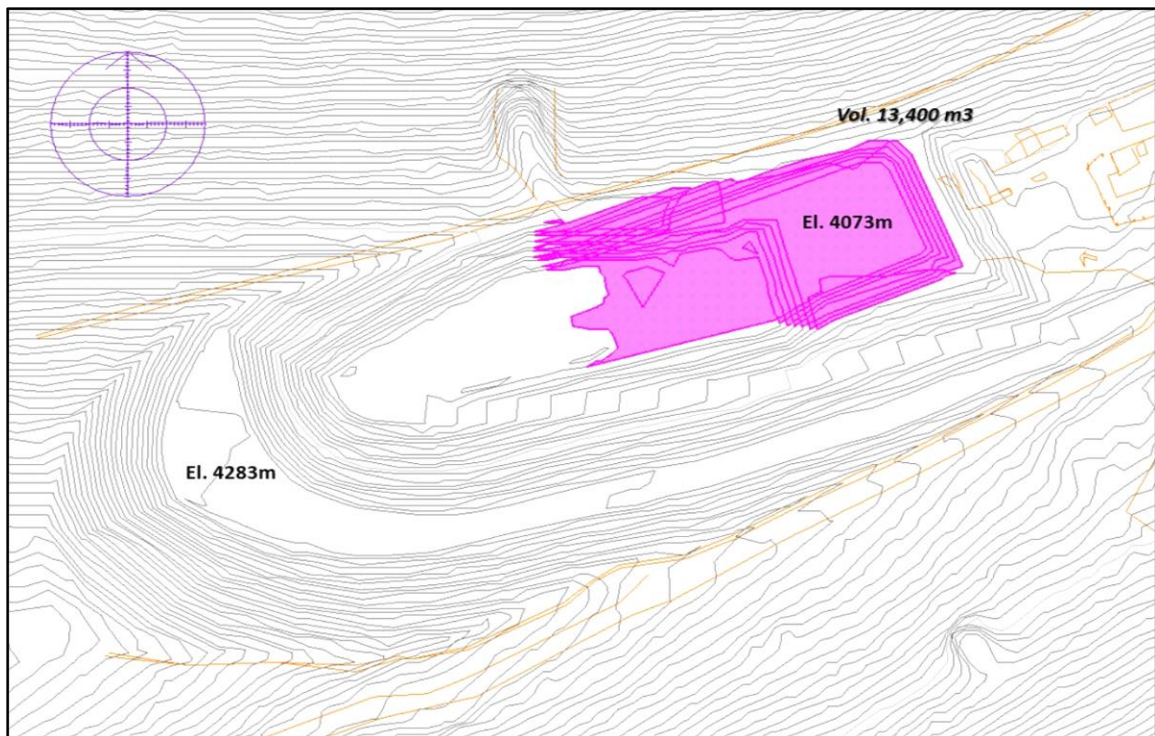
Número de banquetas: 02

- Cota del banco para la Banqueta 01 = 4303 m.s.n.m.
 - Cota del banco para la Banqueta 02 = 4283 m.s.n.m.
1. Altura promedio del banco para la Banqueta 02 = 20.0 metros.
 2. Talud para la Banqueta 02 = 1.4H:1.0V.
 3. Ancho de acceso = 10,0 metros.
 4. Pendiente máxima = 10%, equivalente a 10,00 metros de altura por cada 100 metros horizontales.

Canales de Coronación: Cuyas características técnicas son:

1. Excavación de la caja: Dimensiones de la excavación:
 - Base (b) de 0,50 metros.
 - Altura (h) de 0,50 metros.
 - Profundidad (z) de 0,5 metros.
2. Revestimiento: No se requiere revestimiento.
3. Barreras enrocadas: Se colocarán barreras enrocadas a intervalos de cada 20 metros lineales.
4. Pendiente mínima: La pendiente mínima será del 1.0%.

Figura 8. Depósito de Desmonte Coturcán - Plan de descarga 2023.



Fuente: Mina Coturcan , 2022.

4.3. Condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan

Las condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan se refieren a las características específicas del terreno y del entorno en el área donde se encuentra ubicado el botadero. Esto incluye factores geotécnicos, geológicos, hidrogeológicos y climáticos. Se estudian la topografía, la composición del suelo, la capacidad de carga del terreno, la presencia de fallas geológicas, el nivel freático y las condiciones climáticas locales, entre otros aspectos. Estas condiciones son fundamentales para comprender el comportamiento del depósito y evaluar su estabilidad ante las fuerzas naturales y la actividad humana.

El conocimiento detallado de las condiciones de sitio es crucial para el diseño y la gestión adecuada del depósito, minimizando los riesgos y garantizando la seguridad a largo plazo.

4.3.1. Condiciones del sitio

El depósito de Desmonte Coturcán: Ubicado en la delantera de la bocamina de Coturcan, al lado de la carretera que conecta Aija y Recuay. En este plan, se considera la descarga de desmonte en la banqueta superior del depósito. Este plan también incluye la preparación de las áreas correspondientes para la expansión de la plataforma, que contendrá el volumen total de desmonte de la mina según los planes de mediano y largo plazo.

4.3.2. Hidrología e Hidrogeología:

En relación con la calidad del agua en esta localidad, no cumple con los estándares establecidos en el ECA Categoría 1, A - 2 para la presencia de Arsénico, además de presentar niveles ligeramente elevados de Cadmio y Manganeso en algunas ocasiones, lo que lo hace inapropiado para el consumo humano. La Quebrada Hércules muestra propiedades de aguas ácidas naturales, resultado de la erosión de rocas mineralizadas durante las lluvias, excediendo los límites establecidos en la categoría 3 del ECA, similar a las aguas en la mina por la presencia de Arsénico, Cadmio, Hierro, Plomo y Zinc.

Las actividades mineras en la microcuenca de Hércules, Coturcán y Caridad han impactado las aguas subterráneas, generando un flujo superficial que alimenta las quebradas Hércules, Huayhuash y Pallca. Los depósitos cuaternarios presentan un nivel freático con características de acuífero libre, con una conductividad hidráulica que varía entre 10^{-2} m/día

y 10 m/día, una transmisividad que oscila entre 150 m²/día y 700 m²/día, y un coeficiente de almacenamiento "S" de 0.20.

En las rocas volcánicas fracturadas, la transmisividad varía de 25 m²/día a 150 m²/día, con un coeficiente de almacenamiento "S" de 8.0×10^{-3} . Las pruebas de permeabilidad en áreas con zonas de fallas indican valores entre 500 m²/día y 700 m²/día. Por otro lado, la transmisividad en los piroclastos fluctúa entre 50 m²/día y 700 m²/día, con un coeficiente de almacenamiento "S" de 0.09.

Los sistemas de drenaje superficial de aguas no contactadas en los depósitos de desmonte cumplen con las consideraciones de cierre constituidos en el plan vigente. Además, los sistemas de drenaje de aguas contactadas desvían el agua mediante drenajes hacia una poza de recolección, desde donde se conduce con destino a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). (Mina Coturcan,2022).

4.3.3. Geoquímica:

El desmonte de la mina que se descarga presenta propiedades ácidas, las cuales se han evaluado mediante la Prueba de Balance Ácido-Base (método EPA-600/2-78-054). Esta prueba ha sido instrumental para determinar la caracterización de los materiales, y los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla según el Plan de Minado Anual 2022 de la Mina Coturcan., ubicada en Recuay, Perú (Mina Coturcan., 2022).

Tabla 6. Parámetros Geoquímicos

Parámetros	Muestra "Representativa 1"	
	Resultados	Unidades
pH en pasta	7,18	Unidades de pH
PA	15,63	Kg CaCO ₃ / TM
PN	16,00	Kg CaCO ₃ / TM
PNN	0,37	Kg CaCO ₃ / TM

Fuente: Mina Coturcan, 2022.

El Potencial Neto Neutralizante se refiere a la habilidad de un mineral para generar o absorber ácido. Para identificar la posible generación de Drenaje Ácido, se emplea una regla general que permite evaluar este fenómeno de la siguiente manera:

Si $PN/PA < 1.0$ **Genera Acidez**

Si $-20 < PNN < +20$ **Rango de Incertidumbre - Indica que el material del Botadero es generador de ácido incierto.**

Se tiene que si el PN/PA es igual a 0.63 y PNN es igual a -14,76, el material está en el rango de $-20 < PNN < +20$ y $PN/PA < 1$ por lo tanto contiene alto potencial de generación de ácido. (Mina Coturcan, 2022).

4.3.4. Peligro Sísmico:

Los resultados obtenidos representan las aceleraciones horizontales máximas previstas en el punto de estudio. Estos valores se han calculado utilizando varios modelos de atenuación y considerando diferentes períodos de retorno, tal como se muestra a continuación:

Tabla 7. Periodo de retorno.

Periodo de Retorno	100	250	475	975	2475	5000	10000
Aceleración (g)	0,202	0,298	0,380	0,495	0,662	0,811	0,988

Fuente: Mina Coturcan,2022.

La selección del evento sísmico para el diseño está directamente ligada al tipo de estructura a considerar. En este análisis, se ha optado por un periodo de retorno de 475 años para el sismo de diseño, el cual es apropiado para estructuras con una vida útil proyectada de 50 años y un nivel de superación del 10% respecto al valor de aceleración propuesto. Esta elección se encuentra alineada con las directrices establecidas por el Ministerio de Energía y Minas en 1995. En consecuencia, en la localización específica del proyecto, la máxima aceleración horizontal prevista para el sismo de diseño es de 0.380g, tomando en cuenta la mediana (P.50) del modelo de atenuación ponderado, donde "a" representa el 50% de la aceleración de la gravedad (PGA). (Mina Coturcan.2022).

4.3.5. Identificación de los Aspectos Ambientales:

La manipulación de las aguas generadas en el transcurso de la operación de los depósitos de desmonte requiere la implementación de estructuras hidráulicas para la conducción y contención, garantizando un tratamiento adecuado y la descarga conforme a la autorización vigente. Para controlar las aguas que no están en contacto con los depósitos, se planifica la colocación de canales de coronación, los cuales se ajustarán al plan de cierre de minas actualmente en vigencia.

Dado que los depósitos de desmonte de la mina son constituyentes de una operación continua, los sistemas de subdrenaje instalados dirigen las filtraciones del cuerpo del depósito hacia canales de derivación y tuberías de subdrenaje. Estos elementos conducen las aguas hacia pozas de recolección para su posterior transporte a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Este enfoque garantiza el control y gestión eficiente de las aguas generadas en el proceso operativo, cumpliendo así con los requisitos establecidos por las autoridades competentes. (Mina Coturcan.2022).

4.3.6. Plan de Descarga

Para el Plan de Minado del año 2023, se contempla la descarga del desmonte de la mina hacia el depósito de Coturcán, de acuerdo con el Plan de Producción de Desmonte de Mina establecido en la Tabla 8. Este plan se ha materializado en el Plan de Descarga detallado en la Tabla 9, que incluye la secuencia de descarga mensual y la proyección final correspondiente.

Tabla 8. Producción de Desmonte Mina – 2023.

Meses	Producción desmonte mina (m ³)	Total (m ³)
ENE	3,861.13	9,546.44
FEB	4,266.21	10,490.88
MAR	4,799.24	10,491.11
...
DIC	3,148.99	7,761.93
Total	44,482.86	111,902.03

Fuente: Mina Coturcan , 2022.

Tabla 9. Plan de Descarga 2023.

Meses	Plan de descarga (m ³)	Total (m ³)
ENE	3,861.13	9,546.44
FEB	4,266.21	10,490.88
MAR	4,799.24	10,491.11
...
DIC	-	7,761.93
Total	20,740.00	111,902.03

Fuente: Mina Coturcan , 2022.

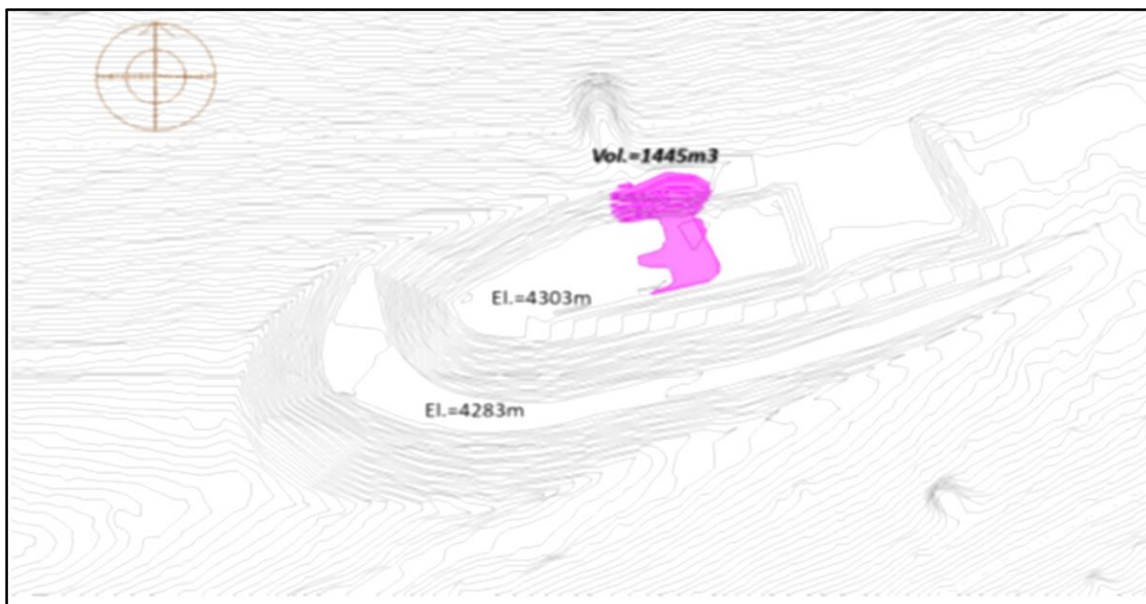
4.3.7. Secuencia de Descarga

La secuencia de descarga seguirá los gráficos detallados, en el depósito de Desmonte Coturcan, se llevará a cabo la descarga del desmonte de la mina de la siguiente manera:

1. Se comenzará entrando con un acceso al nivel 4303, m.s.n.m. descargando todo el primer lift (abril-agosto) manteniendo la misma cota.
2. Se construirá una rampa temporal hasta el nivel 4283 m.s.n.m. para permitir la descarga progresiva hasta terminar el segundo lift (septiembre-diciembre).
3. Durante la descarga de ambos lifts, se acondicionará una zona para la descarga temporal de material saturado entre la descarga de desmonte y el talud natural. El material saturado se encapsulará conforme se avance en el plan anual de descarga.

4. Las descargas se controlarán diariamente mediante topografía o según la planificación a corto plazo presentada por operaciones mineras. Se verificarán los límites de diseño según el plan.
5. La supervisión de la descarga de desmonte estará a cargo del área de geotecnia de Proyectos, emitiendo informes mensuales para evaluar la ejecución del plan y tomar acciones correctivas si es imprescindible.

Figura 9. Plan de descarga – depósito de desmonte Coturcan.



Fuente: Mina Coturcan, 2022

4.4. Análisis de estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan

Para el análisis se examinan detalladamente factores geotécnicos, características del terreno y la geometría del depósito para determinar su capacidad para resistir las fuerzas externas y condiciones ambientales. Mediante técnicas avanzadas de modelado numérico y simulaciones, se realizan diversos escenarios para prever posibles riesgos, como deslizamientos de tierra o colapsos, y se evalúa la estabilidad de la estructura bajo diferentes condiciones. Además, se implementa un sistema de monitoreo continuo para obtener datos en tiempo real y

detectar cualquier cambio significativo que pueda comprometer la estabilidad del depósito. Los resultados de este análisis permiten identificar deficiencias y áreas de mejora en el diseño y construcción del botadero. Con base en los hallazgos, se proponen medidas correctivas para mitigar los riesgos y mejorar la seguridad del depósito. Estas medidas pueden incluir el refuerzo de taludes, la implementación de sistemas de drenaje efectivos o la optimización de la distribución de los desmontes. Para el análisis de estabilidad se han considerado los parámetros geotécnicos establecidos y se ha evaluado las condiciones de estabilidad más desfavorables teniendo en cuenta condiciones de presión de poros en la fundación con una altura de hasta 3.0m.

Tabla 10. Parámetros Geotécnicos de los materiales.

Material	P.E.A(K N/m³)	Cohesión (kPa)	Ø (°)
Desmonte	18,74	12,26	38,35
Cimentación	17,77	0,00	35,00
Basamento Rocoso	27,88	20,39	37,00

Fuente: Mina Coturcan , 2022.

Según esta característica, se ha examinado la estabilidad física de estos elementos mediante el método de Equilibrio Límite, utilizando el modelo de Spencer y representándolo a través del software SLIDE 6.0. En cuanto al análisis pseudostático (sísmico), basado en la actualización del estudio de Peligro Sísmico, se ha adoptado un periodo de diseño de 475 años con un PGA de 0.38g. Para este análisis en particular, se ha establecido un coeficiente de aceleración de 0.5 PGA, resultando en un valor de $a=0.19g$. Seguidamente, se presentan los resultados derivados del modelado y análisis de estabilidad. (Mina Coturcan,2022)

Tabla 11. Depósito de Desmonte Coturcan.

Sección	Estático	Pseudoestático (a=0.19g)
1-1	1.55	1.05
2-2	2.00	1.33

Fuente: Mina Coturcan., 2022.

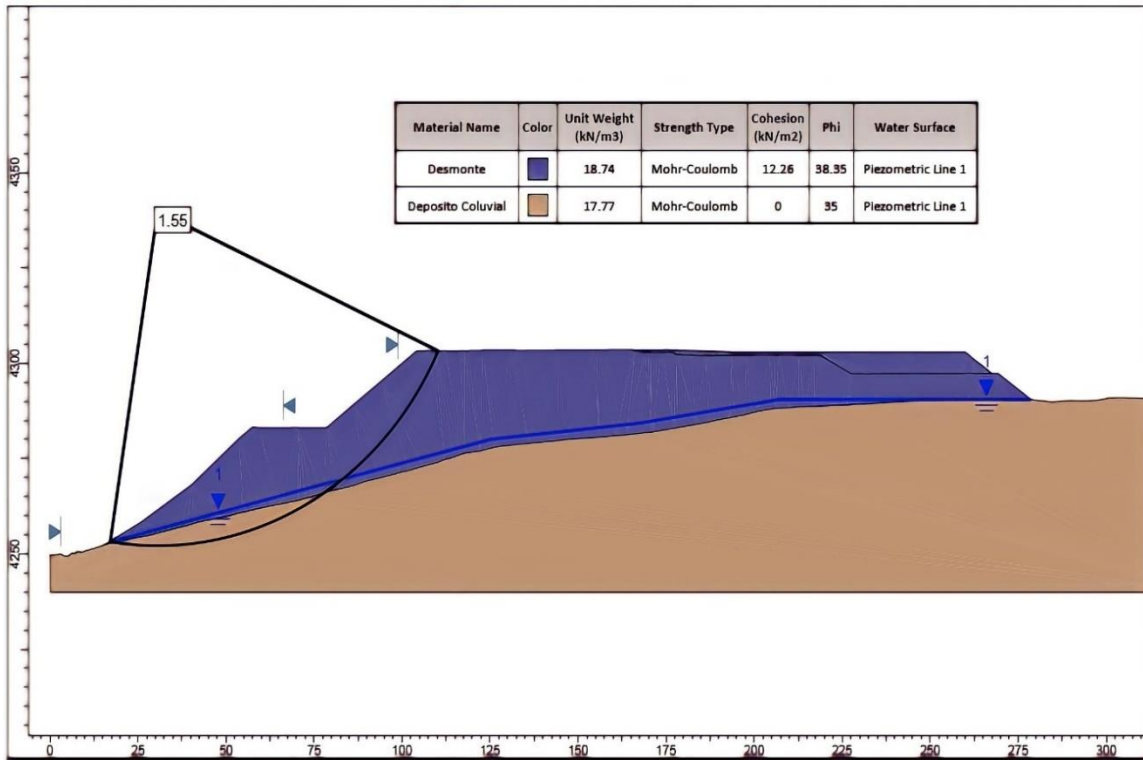
El cuadro siguiente ilustra la extensión del recorrido desde la entrada de la mina en funcionamiento hasta la zona designada como la cancha de desmonte Coturcan. Es esencial destacar que la ruta de transporte actual constituye la única vía disponible en la región y está catalogada como parte integral de la red vial nacional.

Tabla 12. Distancia de Acarreo desde la mina hasta el depósito de desmonte.

ORIGEN	DESTINO	DISTANCIAA ▲▲▲▲▲	UNIDAD
Bocamina Coturcan	Depósito de desmonte Coturcan	0.5	Km

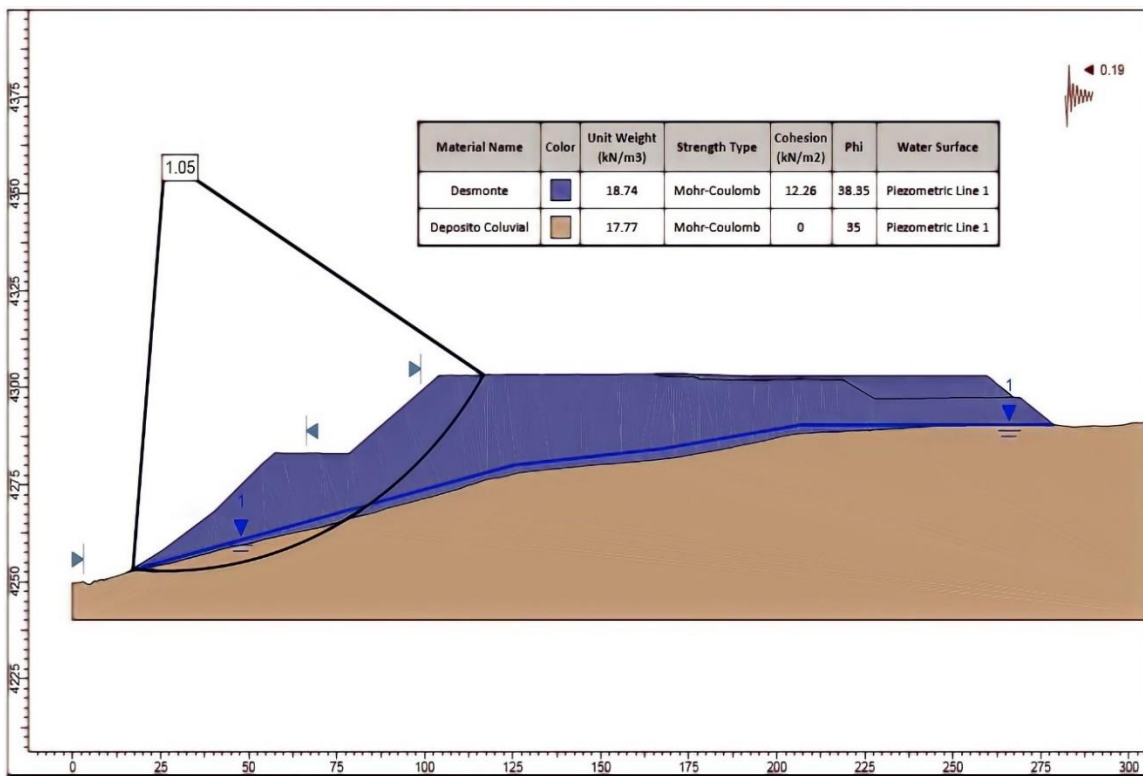
Fuente: Mina Coturcan., 2022.

Figura 10. Análisis de Estabilidad Estático, Depósito de Desmonte Coturcán, S. 1-1.



Fuente: Mina Coturcan , 2022.

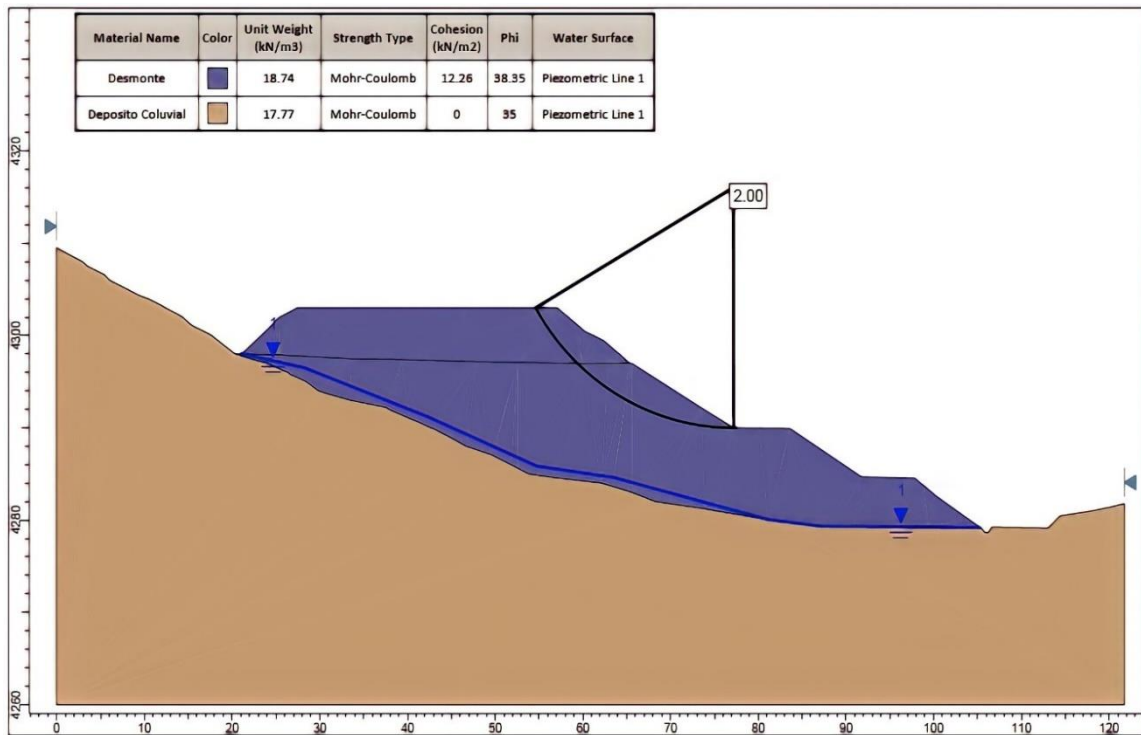
Figura 11. Análisis de Estabilidad Pseudoestático, Depósito de Desmorte Coturcan, S. 1-1.



Fuente: Mina Coturcan , 2022.

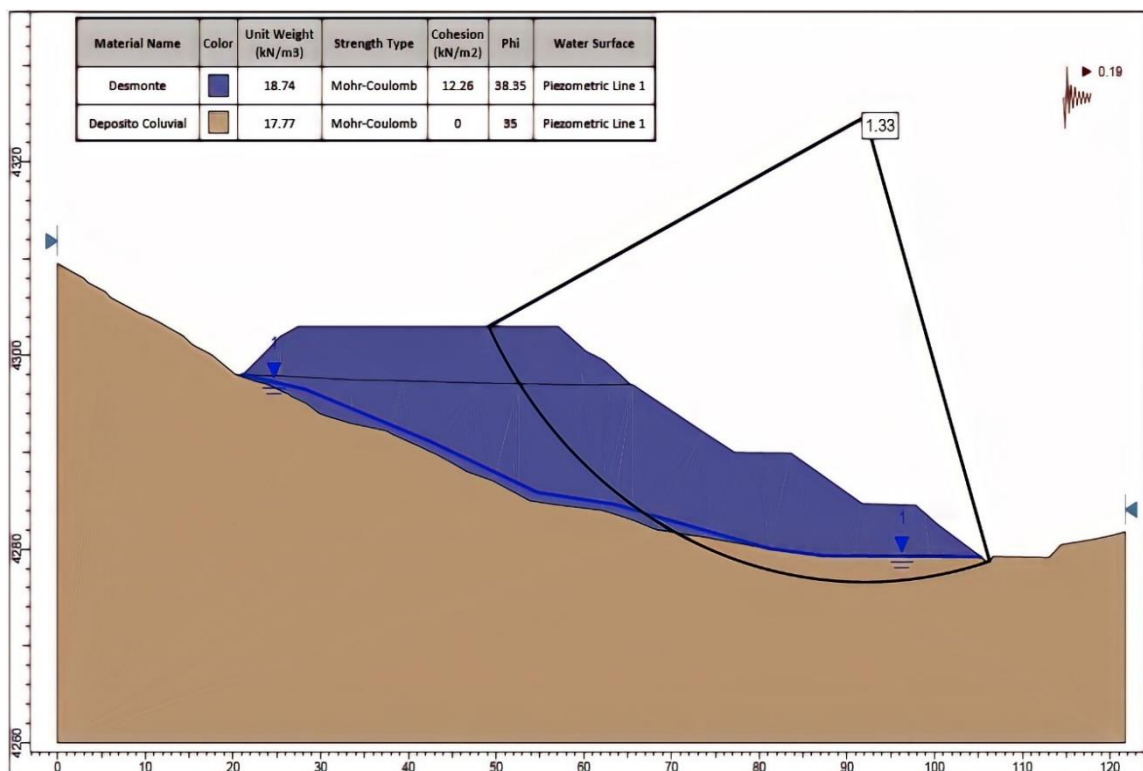
Figura 12. Análisis de Estabilidad Estático, Depósito de Desmorte Coturcán, Sección 2-2.

2.



Fuente: Mina Coturcan , 2022.

Figura 13. Análisis de Estabilidad Pseudoestático, Depósito de Desmorte Coturcán, S. 2-2.



Fuente: Mina Coturcan , 2022.

4.5. **Discusión de resultados**

Discusión de resultados del estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan:

- 1. Importancia del estudio geotécnico:** El estudio geotécnico es importante para asegurar la estabilidad y la seguridad del botadero de desmontes de la Mina Coturcan en el año 2023. Proporciona información detallada sobre el terreno y los materiales presentes en el botadero, permitiendo identificar posibles riesgos de deslizamientos y colapsos que podrían afectar la integridad de los obreros y el entorno físico.
- 2. Parámetros de diseño del depósito de desmontes:** Los parámetros de diseño son fundamentales para garantizar la seguridad, estabilidad y sostenibilidad del botadero. Entre los aspectos clave se encuentran la capacidad y volumen del depósito, la geometría del mismo, el sistema de drenaje, medidas de prevención de erosión y lixiviación, y el monitoreo y control continuo para detectar problemas a tiempo.
- 3. Condiciones de sitio del depósito:** Las condiciones de sitio, que incluyen factores geotécnicos, geológicos, hidrogeológicos y climáticos, son fundamentales para comprender el comportamiento del depósito y evaluar su estabilidad ante fuerzas naturales y actividades humanas. Conocer estas condiciones es esencial para el diseño y la gestión adecuada del botadero.
- 4. Resultados de la geoquímica:** El desmonte de mina descargado en el botadero posee características ácidas, lo que indica un alto potencial de generación de

ácido. Esto debe ser monitoreado y manejado adecuadamente para prevenir problemas ambientales y asegurar la protección del agua y el suelo circundante.

5. Peligro sísmico: Se han efectuado análisis de peligro sísmico para determinar la aceleración máxima esperada en el depósito de desmontes durante un sismo. Estos análisis son importantes para garantizar que la estructura sea segura y estable bajo condiciones sísmicas.

6. Secuencia de descarga: Se ha establecido un plan de descarga mensual para los diferentes depósitos de desmonte, asegurando una gestión adecuada de los materiales y cumplimiento de los objetivos de producción.

7. Análisis de estabilidad física: Los análisis de estabilidad física se realizaron para estimar la capacidad del botadero para resistir fuerzas externas y condiciones ambientales, garantizando su estabilidad y seguridad. Estos análisis son fundamentales para identificar áreas de mejora en el diseño y construcción y proponer medidas correctivas para mitigar riesgos.

4.6. Aportes del tesista

Se contribuyó apoyando en los trabajos de campo para realizar el "Estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan" con el objetivo de asegurar la estabilidad y seguridad del botadero de desmontes de la Mina Coturcan. El enfoque principal fue en la caracterización exhaustiva del terreno y los materiales presentes en el botadero para prevenir posibles riesgos de deslizamientos y colapsos que pudieran poner en peligro tanto la seguridad de los trabajadores como la sostenibilidad de la operación minera.

CONCLUSIONES.

1. El estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan es fundamental para asegurar la estabilidad y seguridad del botadero de desmontes de la Mina Coturcan. Evaluar la estabilidad del depósito es importante para prevenir riesgos de deslizamientos o colapsos que podrían afectar la seguridad de los trabajadores y el entorno físico y se determinó que en condiciones Pseudoestático de la Sección 1-1, tenemos que el factor de seguridad es igual 1,05, y en condiciones Pseudoestático de la Sección 2-2 tenemos que el factor de seguridad es igual 1,33
2. Los parámetros de diseño del depósito de desmontes, como la capacidad, volumen, geometría y sistema de drenaje, son fundamentales para asegurar la estabilidad y cumplir con las regulaciones ambientales y de ingeniería aplicables. Implementar medidas de seguridad operativa y monitoreo continuo es esencial para detectar problemas a tiempo y tomar acciones correctivas.
3. Las condiciones de sitio del depósito de desmontes se refieren a las características específicas del terreno y del entorno en el área donde se encuentra ubicado el botadero. Estudiar factores geotécnicos, geológicos, hidrogeológicos y climáticos es esencial para comprender el comportamiento del depósito y evaluar su estabilidad ante las fuerzas naturales y humanas.

RECOMENDACIONES

1. Implementar las medidas correctivas propuestas en el análisis de estabilidad física para garantizar la seguridad del depósito de desmontes. Esto puede incluir el refuerzo de taludes, la optimización del sistema de drenaje y la revisión periódica de las condiciones geotécnicas.
2. Cumplir con los parámetros de diseño establecidos, garantizando la capacidad adecuada del depósito y la implementación de sistemas de drenaje efectivos. Es fundamental seguir las normativas ambientales y de ingeniería para una operación minera responsable.
3. Realizar monitoreo continuo del depósito de desmontes y del entorno circundante para detectar cambios significativos que puedan afectar la estabilidad. Mantener una supervisión constante permitirá tomar medidas preventivas a tiempo y garantizar la seguridad a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arango, F. y Bellido, W. . (2015). *Rendimiento de maquinarias en acarreo y transporte de minerales en la cía. minera Huancapetí S.A.C.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Huancavelica, Perú.
- Ayala, Z. M. . (2022). *Impactos geotécnico-ambientales del proyecto minero El Galeno en cabeceras de las subcuencas Chailhuagón y Chanche provincia Celendín - Región Cajamarca.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Facultad De Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica. Cajamarca, Perú. .
- Carvajal, M. I. (2018). *Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves.* [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas]. Departamento de Ingeniería de Civil. Santiago de Chile, Chile. .
- Castro, L. M. (2022). *Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excélsior, Cerro de Pasco – 2021.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Facultad de Ingeniería. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geológica. Cerro de Pasco, Perú. .
- ChatGPT. (2023). *Definiciones.*
- Compañía Minera Lincuna S.A. . (2022). *Plan de minado Anual 2023.* Recuay, Perú.
- Condezo, M. L. . (2019). *Análisis de estabilidad de taludes, empleando métodos aproximados de dovelas, en depósito de desmonte de mina Excélsior – Pasco.* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Huancayo, Perú. .

- Cueva, E. R. (2022). *Investigación y caracterización geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic de la U.M. Huanzala – 2021*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional. Santiago Antúnez de Mayolo]. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. .
- De Laire, A. . (2021). *Análisis de sensibilidad de la estabilidad de taludes para tranques y embalses de relave utilizando el método de equilibrio límite*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas]. Departamento de Ingeniería de Civil. Santiago de Chile, Chile.
- Gómez, J. R. (2017). *Reducción de costos de explotación mediante la mejora de los parámetros de perforación y voladura en la mina Huancapeti*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Ayacucho, Perú.
- Henostroza, O. (2022). *Evaluación Técnica para determinar la Viabilidad del Proyecto Profundización de la Mina Hércules - Compañía Minera Lincuna - 2022 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]*. Repositorio Institucional UNASAM.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). • *Hernández Sampieri Roberto, FernMetodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México*.
- Lazaro, J. E. (2018). *Geomecánica aplicada al diseño del sostenimiento para mejorar la estabilidad de las labores mineras en la mina Caridad de la compañía minera Lincuna S.A. – 2017*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional. Santiago Antúnez

de Mayolo]. Facultad de Ingeniería De Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional se Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú.

Mejia, F. A. (2020). *Análisis de sensibilidad para evaluar la estabilidad física del dique principal del depósito de relaves Santa Catalina de la compañía minera Quiruvilca S.A. 2017.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional. Santiago Antúnez de Mayolo]. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú. .

Reyes, Y. R. (2019). *Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización.* [Tesis de Grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia]. Facultad De Ingeniería. Escuela De Posgrados Tunja. Boyacá, Colombia. .

ANEXO



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	VARIABLES	POBLACIÓN Y MUESTRA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis General		Variable Independiente	Población
¿Cómo realizar el estudio geotécnico y el análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan para garantizar la seguridad – 2023?	Realizar el estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan para garantizar la seguridad – 2023.	El estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan garantizará su seguridad en el año 2023.	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada.</p> <p>Nivel de la investigación</p> <p>Descriptiva.</p> <p>Método</p>	Estudio geotécnico y análisis de estabilidad física del botadero de desmontes de la Mina Coturcan.	La población del trabajo de investigación está constituida por todos los botaderos de la compañía minera Lincuna S.A.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis General	Se aplicará el método científico.	Variable Dependiente	Muestra
¿Cuáles son los parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?	Determinar los parámetros de diseño del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.	Al realizar el estudio geotécnico, se obtendrán los parámetros necesarios para diseñar un depósito de desmontes seguro y estable en la Mina Coturcan.	<p>Diseño de investigación</p>	Seguridad.	La muestra está constituida por el botadero de desmontes de la Mina Coturcan.
¿Cuáles son las condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?	Determinar las condiciones de sitio del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.	Al llevar a cabo el análisis de las condiciones del sitio, se identificarán factores geológicos y ambientales que afectan la estabilidad del depósito de desmontes en la Mina Coturcan.	El tipo de diseño es no experimental, de corte transversal.		

<p>¿Cómo determinar la estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan?</p>	<p>Realizar el análisis de estabilidad física del depósito de desmontes de la Mina Coturcan.</p>	<p>Al realizar el análisis de estabilidad física, se determinarán los riesgos potenciales de deslizamientos y erosión, permitiendo implementar medidas adecuadas para garantizar la seguridad del depósito de desmontes en la Mina Coturcan.</p>			
--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

