



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Diseño Técnico de una escombrera de estériles para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector Cerro Colorado, parroquia de Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.

**Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Geología Ambiental y
Ordenamiento Territorial**

AUTOR:

Carlos Fernando Toledo Encalada

DIRECTOR:

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 11 de agosto de 2022

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño técnico de una escombrera de estériles para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector Cerro Colorado, parroquia de Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Carlos Fernando Toledo Encalada**, con cédula de identidad N° **1104606759**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
**STALIN IVAN PUGLLA
AREVALO**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Carlos Fernando Toledo Encalada**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digita Institucional - Biblioteca Virtual.



Firma:

Cedula de identidad: 110460675-9

Fecha: 23/02//2023

Correo electrónico: carlos.toledo@unl.edu.ec

Teléfono: 0998192212

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Carlos Fernando Toledo Encalada**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño Técnico de una escombrera de estériles para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector Cerro Colorado, parroquia de Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte tres días del mes de febrero de dos mil vientes.



Firma:

Autor: Carlos Fernando Toledo Encalada

Cédula: 110460675-9

Dirección: Loja, Barrio La Banda

Correo electrónico: carlos.toledo@unl.edu.ec

Teléfono: 0998192212

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dar infinitas gracias a Dios por darme la vida y ser amigo incondicional, por haberme dado la oportunidad de poder formalizar este sueño tan ansiado durante mucho tiempo, por acompañarme en cada paso que doy, siempre llegando a fortalecer mi corazón, iluminar mente y a alma para seguir adelante, así como también por esas pruebas que me puso en el día a día y que me supo dar las fuerzas para superarlas con la frente en alto.

A mis amados padres, Homero Toledo y Graciela Encalada por ser mi principal fuente de vida y por brindarme siempre su incondicional e interminable apoyo en todo lo que me proponga, por inducir en mí valores y principios de humildad, sencillez, honradez y superación; promoviendo siempre que el amor, la unión y la comprensión fortalecen el espíritu y no desmayar ante cualquier adversidad.

A mis hermanos que siempre estuvieron ahí dándome su incondicional apoyo para aprender que siempre se debe seguir sin importar la prueba, siempre aconsejándome para no desmayar, y decir siempre lucha por tus sueños.

¡Gracias a ustedes!

Carlos Fernando Toledo Encalada

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento primeramente a Dios y a todos a quienes de una u otra forma han podido hacer posible que tuviera lugar la realización de la presente investigación.

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, que mediante la Carrera de ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial; y a sus docentes por haber contribuido los partes académicos teóricos y técnicos para mi formación profesional y personal.

Al Ing. Stalin Iván Puglla A. director del trabajo de investigación, por el tiempo y dedicación invertida para que se pueda ejecutar y concluir la presente investigación. A mis compañeros de la universidad y amigos, que durante estos años de carrera supieron brindarme su amistad, apoyo y paciencia, además son quienes tuve y tengo la dicha de compartir momentos inolvidables de aprendizaje y diversión.

Finalmente, agradecer a todos mis familiares, que me han sabido dar su apoyo incondicional e inquebrantable, así como la fuerza para cada día seguir superándome.

Carlos Fernando Toledo Encalada

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas:	x
Índice de figuras:	xii
Índice de anexos:	xiv
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Caracterización geológica y topográfica	6
4.1.1. Topografía	6
4.1.2. Geología	7
4.2. Generalidades de las escombreras	8
4.2.1. Escombrera.....	8
4.2.2. Clasificación de escombreras	8
4.2.3. Consideraciones básicas de diseño.....	12
4.3. Caracterización de los estériles mineros.....	14
4.3.1. Granulometría.....	14
4.3.2. Resistencia.....	15
4.3.3. Plasticidad de los finos.....	15

4.3.4.	Resistencia al corte	15
4.3.5.	Durabilidad.....	16
4.3.6.	Conductividad hidráulica	17
4.3.7.	Consolidación.....	17
4.3.8.	Características geoquímicas	17
4.4.	Emplazamiento de una escombrera	18
4.4.1.	Criterios para el lugar de emplazamiento.....	18
4.4.2.	Metodología para la elección del emplazamiento	19
4.4.3.	Estudio de emplazamiento.....	21
4.5.	Construcción de escombreras	23
4.5.1.	Preparación del cimiento	23
4.5.2.	Drenaje	23
4.5.3.	Control de la calidad de los materiales.....	25
4.5.4.	Métodos y sistemas constructivos	26
5.	Metodología	28
5.1.	Materiales	28
5.2.	Ensayos	28
5.2.1.	Resistencia a la compresión simple o uniaxial.....	28
5.2.2.	Ensayo Estándar para determinar el ph	28
5.3.	Métodos	29
5.3.1.	Método de estudio	29
5.4.	Metodología.....	30
5.4.1.	Primer Objetivo	30
5.4.2.	Segundo objetivo.....	31
5.4.3.	Tercer Objetivo.....	32
6.	Resultados	34
6.1.	Descripción General de área de estudio.....	34

6.1.1.	Ubicación y acceso.....	34
6.2.	Marco Geológico Estructural.....	36
6.2.1.	Geología Regional.....	36
6.2.2.	Geología Local	41
6.2.3.	Estructuras.....	44
6.3.	Variables de dependientes e independientes.....	44
6.3.1.	Variables independientes	45
6.3.2.	Variables dependientes	45
6.4.	Emplazamiento y ubicación de la escombrera.....	45
6.4.1.	Metodología para la elección del emplazamiento	45
6.4.2.	Lugar de emplazamiento	50
6.4.3.	Estudio del emplazamiento	50
6.5.	Diseño Técnico de la escombrera.....	70
6.5.1.	Preparación del cimiento.....	70
6.5.2.	Sistema constructivo	70
6.5.3.	Drenaje	80
7.	Discusión	87
8.	Conclusiones	89
9.	Recomendaciones	91
10.	Bibliografía	92
11.	Anexos	94

Índice de tablas:

Tabla 1. Factor de resistencia de la cimentación, β	20
Tabla 2. Factor topográfico o de pendiente, θ	20
Tabla 3. Factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η	20
Tabla 4 Factor de alteración de la red de drenaje, δ	21
Tabla 5. Clasificación de los emplazamientos según valor de Q_e	21
Tabla 6. Propiedades del sustrato rocoso del cimientó y ensayos a realizar.	22
Tabla 7. Coordenadas UTM/WGS 84 de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del C6ndor; circunscrita en el 6rea de concesión minera Nanguipa c6digo 501410	34
Tabla 8. Coste de transporte de est6riles a la alternativa 1.....	46
Tabla 9. Coste de transporte de est6riles a la alternativa 2.....	47
Tabla 10. Factor α de alteraci6n de la capacidad portante del terreno debido al nivel fre6tico	47
Tabla 11. Factor de resistencia de la cimentaci6n, β	48
Tabla 12. Factor topogr6fico o de pendiente, θ	48
Tabla 13. Factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η	49
Tabla 14 Factor de alteraci6n de la red de drenaje, δ	49
Tabla 15. Clasificaci6n de los emplazamientos seg6n valor de Q_e	49
Tabla 16. Vegetaci6n a remover en el emplazamiento de la escombrera.	52
Tabla 17. Clasificaci6n del tipo de pendiente	56
Tabla 18. Rangos de pendientes	56
Tabla 19. Registros meteorol6gicos de la estaci6n San Francisco-San Ram6n modificado...	60
Tabla 20. Resultados del ensayo de compresi6n simple	61
Tabla 21. Clasificaci6n de la roca en base a la resistencia a la compresi6n seg6n la ISRM...	61
Tabla 22. Condici6n de discontinuidades del A1.....	63
Tabla 23. Condici6n de discontinuidades del A2.....	64
Tabla 24. C6lculo geomec6nica RMR (Bieniawski, 1989) del A1	64
Tabla 25. C6lculo geomec6nica RMR (Bieniawski, 1989) del A2	65
Tabla 26. Calificaci6n geomec6nica RMR (Bieniawski, 1989).....	65
Tabla 27. Valores del factor Z en funci6n de la zona s6smica adoptada	68
Tabla 28. Clasificaci6n de los perfiles de suelo.	68
Tabla 29. Tipo de suelo y Factores de sitio F_a	69
Tabla 30. Estimaci6n del 6ngulo de rozamiento	72

Tabla 31. Parámetros de diseño de la Escombrera	73
Tabla 32. Valores de pH de las muestras de escombros.....	80
Tabla 33. Tipos de drenaje de roca.....	80
Tabla 34. Valores del coeficiente C de la escorrentía	82
Tabla 35. Determinación de Ecuaciones para Cálculo de Intensidad Máxima de Precipitación	83
Tabla 36. Cálculo de la Intensidad de Precipitación	83
Tabla 37. Resultados obtenidos de las Áreas correspondientes a las diferentes cunetas	84
Tabla 38. Resultados obtenidos mediante el cálculo del caudal máximo para los diferentes Bancos	84
Tabla 39. Tipos de Secciones Hidráulicas.....	85

Índice de figuras:

Figura 1. Labores mineras que generan estériles y sistemas de deposición.....	8
Figura 2. Tipos o sistemas de vertido de escombreras.....	9
Figura 3. Implantación de escombreras en relación al hueco de explotación.....	11
Figura 4. Tipos de escombreras según el lugar de emplazamiento.....	18
Figura 5. Drenaje del talud de la escombrera.....	24
Figura 6. Colocación del drenaje rocoso.....	24
Figura 7. Calidad de los estériles	25
Figura 8. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción.....	26
Figura 9. Métodos de construcción por basculamiento final y por tongadas.....	27
Figura 10. Ubicación del área de estudio	35
Figura 11. Geología del Distrito de Zamora	37
Figura 12. Geología regional de la concesión Nanguipa y del área de estudio.....	40
Figura 13. Tobas andesíticas de grano fino meteorizados	41
Figura 14. Andesita afanítica fracturada con oxidación.....	42
Figura 15. Brecha Volcánica clástica de grano grueso con presencia de cobre.....	43
Figura 16. Skarn de granate oxidado meteorizado.....	44
Figura 17. Alternativas de escombreras en la asociación minera	46
Figura 18. Elección del lugar del emplazamiento de la escombrera minera.....	50
Figura 19. Clima y vegetación de la asociación minera.....	51
Figura 20. Topografía de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor	53
Figura 21. Perfiles topográficos A-A', B-B' Y C-C' área de estudio.....	54
Figura 22. Proyección topográfica en 3D E –W de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.	55
Figura 23. Proyección topográfica en 3D N – S de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.	55
Figura 24. Vista superior DEM en 3D de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.	56
Figura 25. Pendiente de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor	57
Figura 26. Red Hídrica de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.....	58
Figura 27. Afloramiento en el lugar de emplazamiento inferior.....	62
Figura 28. Afloramiento en el lugar de emplazamiento superior.....	63

Figura 29. Sismos con magnitudes de rango 2.5 a 4.5Mw en las proximidades a la zona de estudio.....	66
Figura 30. Valor del factor de zona Z para zonas sísmicas para propósitos de diseño	67
Figura 31. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción.....	70
Figura 32. Diseño de las especificaciones técnicas de la escombrera.....	73
Figura 33. Datos geométricos de la bocamina.	74
Figura 34. Superficie de escombrera de estériles	76
Figura 35. Recorrido de la Bocamina y escombrera	77
Figura 36. Secciones en el área de emplazamiento	77
Figura 37. Perfiles topográficos en el área de emplazamiento.....	78
Figura 38. Perfil topográfico A-A' en el área de emplazamiento	78
Figura 39. Perfil topográfico B-B' en el área de emplazamiento.....	79
Figura 40. Perfil topográfico C-C' en el área de emplazamiento	79
Figura 41. Diseño del sistema de drenaje en el emplazamiento de la escombrera	85
Figura 42. Drenaje del talud de la escombrera.....	86

Índice de anexos:

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor.	94
Anexo 2. Mapa Geológico del Distrito de Zamora	94
Anexo 3. Mapa Geológico Regional.....	94
Anexo 4. Mapa Geológico de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor.....	94
Anexo 5. Mapa Topográfico de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor.....	94
Anexo 6. Mapa de Pendientes de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor	94
Anexo 7. Mapa de la Red Hídrica de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor	94
Anexo 8. Fichas de Información de Campo - Descripción del Afloramiento.....	95
Anexo 9. Protocolo de Método de Ensayo Estándar para Resistencia de Compresión No Confinada de Especímenes de Roca Intacto.....	108
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen del trabajo	111

1. Título

Diseño técnico de una escombrera de estériles para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector Cerro Colorado, parroquia de Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.

2. Resumen

El objetivo de la presente investigación es proponer un diseño para el emplazamiento de una escombrera para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410. El lugar del emplazamiento de la escombrera, se tomó en cuenta criterios topográficos, capacidad de almacenamiento, superficie, volumen de almacenamiento, tiempo de vida útil, distancia mina-escombrera y parámetros socioambientales estables. Para el modelamiento del emplazamiento, se tomaron en consideración las variables de topografía, red hídrica, clima, vegetación, geología y las propiedades geomecánicas.

La investigación consiste en la caracterización geológica geotécnica y estructural de la base del lugar de emplazamiento y de la roca estéril que va a ser depositada en la escombrera, la determinación de la metodología para la elección del emplazamiento, previo a posibles alternativas de emplazamiento. Para considerar las alternativas se hizo un reconocimiento previo del área de estudio para analizar y estudiar la morfología del terreno, conformación de arroyos o quebradas, características topográficas, existencia de materiales de caída, fracturas, escorrentía de las aguas superficiales. Con el fin de brindar una alternativa de solución al problema de afectación al medio natural por la mala disposición de material estéril, se propone el diseño de una escombrera que cumpla con los criterios técnicos y de estabilidad.

Palabras claves: Escombrera de estériles, caracterización geológica geotécnica, lugar de emplazamiento, diseño técnico.

2.1. Abstract

The objective of the current research is to propose a design for the location of a heap for the Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, in the Nanguipa concession area, code 501410. The location of the heap, was taken into account topographic criteria, storage capacity, area, storage volume, useful life, mine-heap distance and stable socio-environmental parameters. For the modeling of the site, the variables of topography, water network, climate, vegetation, geology and geomechanical properties were taken into consideration.

The research consists of the geological, geotechnical and structural characterization of the base of the emplacement site and the sterile rock that is going to be deposited in the heap, the determination of the methodology for the selection of the emplacement, prior to possible emplacement alternatives. To consider the alternatives, a prior recognition of the study area was made to analyze and study the morphology of the terrain, conformation of streams or ravines, topographic characteristics, existence of fall materials, fractures and surface water runoff. In order to provide an alternative solution to the problem of affecting the natural environment due to the poor disposal of sterile material, the design of a dump that meets the technical and stability criteria is proposed.

Keywords: Heap sterile, geotechnical geological characterization, place emplacement, technical design.

3. Introducción

Las actividades mineras producen gran cantidad de materiales de desecho que es necesario almacenar en lugares adecuados, en cuanto, contaminación, estabilidad, economía, seguridad e integración con el entorno. Los materiales a almacenar proceden, normalmente, de las labores mineras sean estas subterráneas (labores de preparación), a cielo abierto (estériles de la cobertura) o ambas (gangas, menas no útiles), a raíz de todo esto, se da la generación indiscriminada de escombros que tienen muchas irregularidades e incumplimientos con los principios ambientales que se deben considerar en cualquier proyecto desde un principio al momento de manejar estos escombros, creando de esta manera una disposición inadecuada de los escombros, aumentando exponencialmente los daños ambientales y que cada vez se requiere de profesionales que seleccionen, analicen y diseñen escombreras con los correctos criterios técnicos, económicos, ambientales y socio-económicos requeridos.

Hoy en día, no se le presta tanta atención a la temática de escombros derivados de los procesos y los efectos posteriores a la explotación, lo que es un gran problema, perturbando, los recursos naturales circundantes a las áreas afectadas por los puntos de acopio de forma antitécnica de materiales estériles. El mal manejo del material estéril por labores mineros suele generar botaderos clandestinos, generando riesgos directos e indirectos sobre el medio natural y elevados costos de mantenimiento y restauración ambiental.

El planteamiento del problema a investigar, enfatiza la problemática de no contar con una escombrera de estériles en la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector Cerro Colorado. Este tema aborda el tema de los residuos mineros en las operaciones mineras y lo define de manera precisa y específica. La segunda parte del estudio indica el modelo metodológico, utilizado para realizar la investigación, como el tipo de estudio utilizado, el diseño del método, las fuentes y técnicas de recolección de la información y finalmente un análisis de la información recolectada durante la factibilidad de la investigación.

La investigación finiquita, ejecutando unas conclusiones y recomendaciones, las cuales hacen referencia al emplazamiento de la escombrera con criterios técnicos, económicos, ambientales y socio-económicos.

Objetivos

Objetivo General

- Realizar el diseño técnico de una escombrera de estériles para las operaciones de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en la Concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector cerro colorado, parroquia de Guayzimi, cantón Nangaritza, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización geológico estructural del área de estudio.
- Establecer las alternativas para la ubicación de la escombrera de estéril en zona de estudio.
- Diseñar y caracterizar la escombrera de estéril, en función de los parámetros geológicos, geotécnicos y estructurales.

4. Marco Teórico

4.1. Caracterización geológica y topográfica

4.1.1. Topografía

Según (García, 2014), la topografía es la ciencia que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra, estos puntos son obtenidos mediante un levantamiento de campo, el cual consiste en un conjunto de operaciones y medios puestos en práctica para establecer su posición en el terreno y su representación en un plano.

La topografía se divide en: planimetría, altimetría, triangulación, trilateración y fotogrametría, (García, 2014) de los cuales este último se destaca por ser el conjunto de métodos y procedimientos para obtener fotografías sean aéreas o terrestres y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera fotografiado.

4.1.1.1. Levantamiento topográfico.

(Franquet Bernis & Querol Gómez , 2010) definen como tal el conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica o plano. Este plano resulta esencial para situar correctamente cualquier obra que se desee llevar a cabo, así como para elaborar cualquier proyecto técnico. Si se desea conocer la posición de puntos en el área de interés, es necesario determinar su ubicación mediante tres coordenadas que son latitud, longitud y elevación o cota.

Para realizar levantamientos topográficos se necesitan varios instrumentos, como el nivel y la estación total. El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, deslindes, amojonamientos y demás. Existen dos grandes modalidades:

- **Levantamiento topográfico planimétrico:** es el conjunto de operaciones necesarias para obtener los puntos y definir la proyección sobre el plano de comparación.
- **Levantamiento topográfico altimétrico:** es el conjunto de operaciones necesarias para obtener las alturas respecto al plano de comparación.

4.1.2. Geología

Es la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra, su origen, formación y evolución de los materiales y estructura que la componen. (Tarbuck & Lutgens, 2010) definen que: La geología se divide en geología física y la histórica; en donde, la geología física estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. Y, la geología historia busca comprender el origen de la tierra y su evolución a lo largo del tiempo.

4.1.2.1. Geología Estructural.

Es la rama de la geología que estudia la corteza terrestre, sus estructuras y la relación de las rocas que las forman. Estudia la geometría de las rocas y la posición en que aparecen en la superficie producto de la deformación, de las cuales las más habituales son: pliegues, fallas y fracturas.

Las fallas y fracturas, son estructuras tectónicas. Una fractura es una estructura de régimen frágil a favor de la cual no se produce desplazamiento de los bloques que quedan a ambos lados de esta. Las fallas son fracturas en la corteza terrestre a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable (Rodríguez, 2012).

4.1.2.2. Levantamiento geológico

El estudio geológico es un mapa geológico. En un mapa geológico, es una superficie de referencia plana se utilizan para representar los rasgos geológicos del área en una determinada escala (Castillo, 2019). El levantamiento incluye todas las operaciones realizadas, aplicando métodos y técnicas para realizar mediciones que permitan definir la ubicación de puntos característicos del terreno y así, obtener las siguientes características:

- Características Geomorfológicas
- Características Litológicas
- Características Estructurales

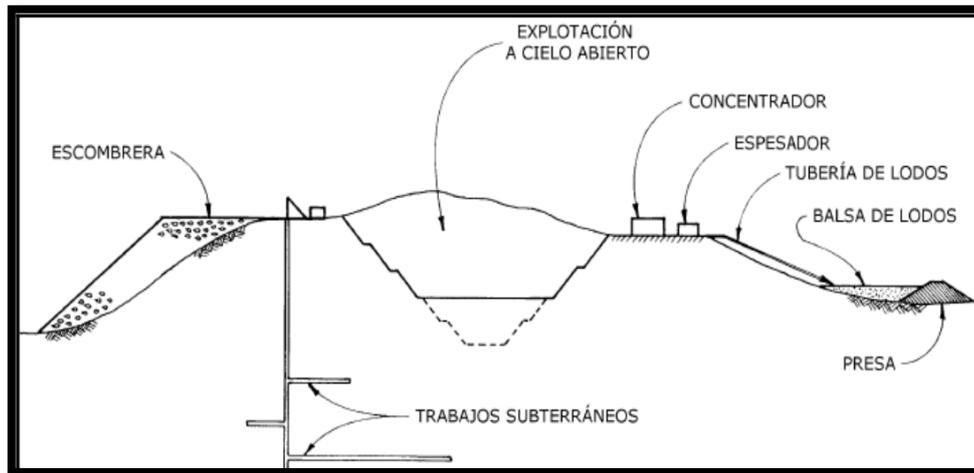
Según el propósito de la investigación, se pueden utilizar criterios muy diferentes para especificar el mapa geológico: mejorar el conocimiento geológico general del área, distinguir tipos litológicos y agrupar estructuras geológicas por edad.

4.2. Generalidades de las escombreras

4.2.1. Escombrera

Una escombrera es una instalación de almacenamiento ordenado y técnico de materiales estériles procedentes de las operaciones mineras de cielo abierto o de las labores subterráneas; generalmente, la escombrera está constituida con materiales estéril de granulometría variable y no tiene valor económico. (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

Figura 1. Labores mineras que generan estériles y sistemas de deposición



Fuente: (Junta de Andalucía, 2008)

Es por ello, las escombreras son lugares de apilamiento o acopio para el material estéril de las labores mineras de explotación del yacimiento. En este contexto, los vertederos o escombreras es toda acumulación de materiales sólidos sin valor económico de diferente granulometría.

4.2.2. Clasificación de escombreras

En el diseño de una escombrera se deben tener en cuenta una serie de consideraciones para determinar las distintas zonas de vertido, así como maximizar la longitud de la cresta de la escombrera. Esta planificación presenta dos ventajas:

- Si aparece una superficie de rotura en una zona del depósito o la subsidencia de la cresta es excesiva, las operaciones en esta parte de la escombrera pueden ser suspendidas hasta alcanzar condiciones estables.
- Si se puede verter sobre una gran longitud de cresta de talud, el ritmo de avance disminuirá, reduciéndose la carga aplicada sobre la cimentación y la correspondiente generación de altas presiones intersticiales en la zona del pie. Un ritmo lento de avance también permite una mayor consolidación de los materiales y un aumento en su resistencia al corte (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

De acuerdo a (Piña . B & Cazal, 2015), para clasificar los vertederos de material de estéril se considera los siguientes criterios.

4.2.2.1. Tipo o sistema de vertido.

- **Vertido libre o por gravedad**

De forma general, es recomendable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista el riesgo de inestabilidad, así como; el peligro de rodadura de rocas aguas abajo. Este vertedero se caracteriza por presentar un talud que concuerda con el ángulo de reposo del material estéril y a su vez, por ser el más utilizado en minería artesanal y en pequeña minería.

- **Vertido por fases adosadas**

Este tipo de escombrera es una de las más favorables por estabilidad, proporcionando mayor seguridad y consiguiendo taludes finales de menor altura.

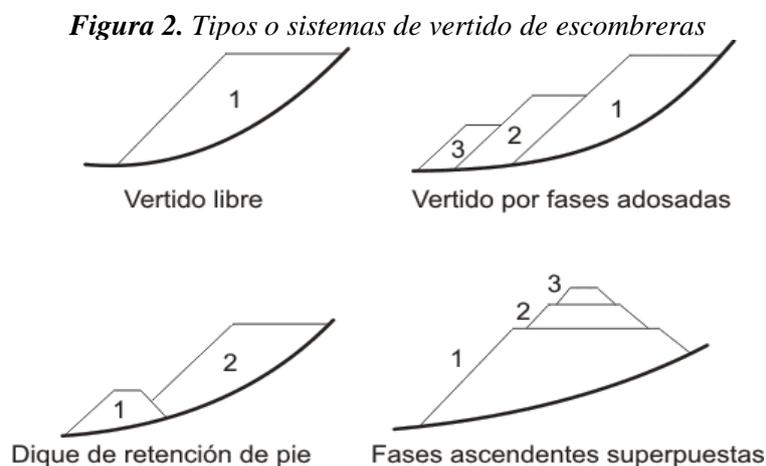
- **Dique de retención de pie**

Conocido como tacón de escollera y se emplea cuando el material estéril a verter es heterogéneo y de diferente litología; por lo que se considera que el material más grueso y mayor resistencia actúa como un muro de contención ante el material de estéril depositado de dimensiones menores.

- **Fases ascendentes y compactas**

Contribuye a una mayor estabilidad por las capas horizontales superpuestas y compactadas del material estéril. Comúnmente, se reconocen dos métodos de vertido:

- a) por tongadas y,
- b) por basculamiento final



Fuente: Aurora B. Piña, 2015

4.2.2.2. Por Dimensiones.

La guía para el diseño y construcción de Escombreras de (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008) propone que la cantidad de estéril a verter sobre un determinado lugar, no sólo depende de la configuración geológica del yacimiento y de la topografía del área, sino del volumen extraído del yacimiento, es por ello que se dividen en:

- 1) **Grandes:** Altura superior a 30 m.
- 2) **Medianas:** Altura superior a 20 m e inferior a 30 m.
- 3) **Pequeñas:** Altura superior a 15 m e inferior a 20 m.

4.2.2.3. Lugar de emplazamiento.

Una vez delimitada el área de emplazamiento inicial de una escombrera, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos ambientales, sociales, económicas y técnicas; par así, determinar el tamaño y la forma del vertedero de material estéril. Según (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008) equipo técnico de Junta de Andalucía, establece que en función del lugar de emplazamiento y su configuración, las escombreras se clasifican en los siguientes tipos:

- **En valle o drenaje**

La superficie de la escombrera, es escalonada para prevenir el almacenamiento de agua en la parte superior del valle. Los rellenos de valle que no llenan totalmente el valle pueden requerir la construcción de alcantarillas, canales de drenaje o desviaciones, dependiendo del tamaño.

- **En Ladera**

Estos son construidos en una ladera y no bloquean ningún curso de drenaje. Las laderas de las escombreras, usualmente, se inclinan en la misma dirección general de la cimentación.

- **En divisoria de aguas**

Las escombreras em divisorias son casos peculiares y especiales, en donde el talud de relleno está constituido por una línea divisoria.

- **En llanura o exenta**

Los taludes de cimentación son generalmente planos o ligeramente inclinados y comprenden montículos de desechos con taludes formados por todos lados; basado en el informe “Guía para el diseño y construcción de Escombreras”.

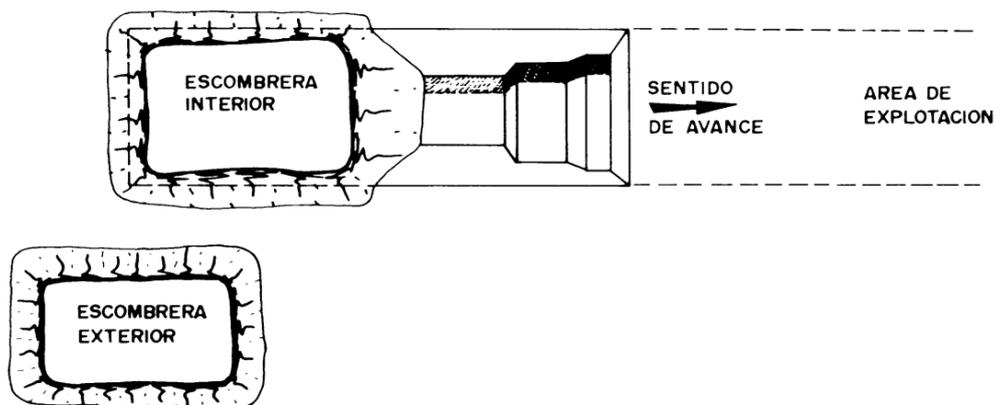
4.2.2.4. Tamaño y forma.

El tamaño de las escombreras está marcado por el volumen de estéril que es preciso mover para la extracción del mineral. En minas a cielo abierto, la cantidad de estériles no depende sólo de la estructura geológica del yacimiento y de la topografía del área, sino también del valor económico del mineral y de los costes de extracción del estéril. Los ratios o relaciones entre la roca estéril y el mineral, expresados en m^3 / t o t/t , son, en la mayoría de las explotaciones de sustancias metálicas (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

4.2.2.5. Clasificación de escombreras.

La guía para el diseño y construcción de Escombreras, propuesta por (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008) de la Junta de Andalucía, dispone que la implantación de la escombrera con respecto a la explotación, éstas se clasifican en interiores, si los estériles se depositan dentro de los propios huecos excavados tras la apertura de un hueco inicial, y exteriores, cuando la morfología del yacimiento y su consiguiente explotación no permiten el relleno del hueco creado en las primeras fases de la mina.

Figura 3. Implantación de escombreras en relación al hueco de explotación



Fuente: López Jimeno, 1989

4.2.2.6. Condiciones geotécnicas.

Al elegir el lugar de asentamiento de una escombrera es preciso realizar una investigación de campo para determinar, mediante muestreo, las características geomecánicas de los materiales que constituirán la base del depósito, así como descartar la existencia de mineral potencialmente explotable en el subsuelo.

En una primera etapa se realizará un reconocimiento visual del terreno para identificar los afloramientos rocosos, la cubierta vegetal, los tipos de suelos, surgencias de agua, áreas de baja permeabilidad, vestigios de hundimientos mineros, discontinuidades estructurales, etc. Toda

esta información se reflejará en un plano a escala conveniente (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

Entre los ensayos de laboratorios de las rocas, cabe destacar los ensayos de compresión, ensayos de deformabilidad, principalmente; mientras que, otros ensayos a destacar, son la cohesión, el peso específico, el ángulo de rozamiento interno y la caracterización geomecánica del macizo rocoso, para estimar si la base de una escombrera puede soportar la sobrecarga que supone el peso de los estériles vertidos o si, por el contrario, es probable que se produzcan inestabilidades estructurales.

4.2.3. Consideraciones básicas de diseño

Según el criterio de (Piña, 2014), los factores básicos que se deben considerar en el diseño de una escombrera de rocas de mina y desmonte pueden dividirse en cinco categorías generales:

4.2.3.1. Factores Mineros.

Incluyen aquellos aspectos relacionados al acarreo de materiales y programación de la mina. Por ejemplo, el transporte, por lo general, es muy importante para los costos de disposición final de rocas de mina y deforestación; así, se hace necesario ubicar las escombreras lo más cerca posible a la fuente, con acarreo a nivel o cuesta abajo hacia la escombrera. La flexibilidad de la programación también puede ser un factor importante, para minas grandes donde se necesitan varias escombreras. Los requerimientos de equipos también pueden variar dependiendo del tipo y ubicación de la escombrera.

4.2.3.2. Restricciones Físicas.

La cantidad de materiales de la escombrera y la configuración, ubicación y capacidad básicas de un determinado terreno donde se ubica la misma pueden tener restricciones físicas importantes sobre el diseño. Los terrenos pueden estar limitados por características topográficas tales como corrientes o taludes de cimentación excesivamente inclinados. Dependiendo de la geometría del lugar, tener varias escombreras es mejor que tener una grande. La configuración y ubicación del terreno también pueden definir la técnica de construcción óptima (Piña . B & Cazal, 2015). Entre las restricciones para el emplazamiento de una escombrera son:

➤ Asentamientos

Los asentamientos que las escombreras sufren durante y después de su construcción, influyen en la densidad y en las características de resistencia al corte de los materiales de dichas estructuras. Dependiendo de las técnicas de construcción, las distintas zonas del interior de las escombreras pueden sufrir diferentes esfuerzos de compactación (Piña . B & Cazal, 2015). Las características de los asentamientos pueden variar,

produciéndose asentamientos diferenciales en el tiempo y su consecuente rotura, la cual puede conducir a la rotura de la superficie de drenaje, terrenos de recubrimiento, etc., además de grandes infiltraciones en la escombrera.

➤ **Actividad sísmica**

Los sismos son uno de los fenómenos naturales; su magnitud destructora puede ser capaz de provocar un gran daño en un breve lapso. La mayoría de los sismos se explican por la ocurrencia de ondas sísmicas u ondas de choque, generadas por disturbios en la corteza terrestre. En el caso de sismos en las actividades minera especialmente en el emplazamiento y ubicación de escombreras, existen repercusiones graves, la mayoría de las víctimas mueren o quedan heridas por la caída de escombros, siendo así recomendable realizar un estudio geológico estructural geotécnico para así, evitar daños colaterales.

4.2.3.3. Evaluación Ambiental.

Los impactos ambientales potenciales tienen influencia y en muchos casos, controlan el diseño de la escombrera. Los requisitos para las instalaciones de sedimentación pueden favorecer más a un terreno que a otro. Cuando se predice el drenaje de roca ácida, las medidas de mitigación requeridas pueden variar considerablemente entre los terrenos alternativos (Cando, 2019). El impacto potencial de las fallas en la escombrera también puede tener influencia en el diseño y debe ser evaluado. Adicionalmente, los requisitos de restauración y estética pueden variar de un terreno a otro, lo cual debe ser considerado en el proceso de diseño.

4.2.3.4. Estabilidad a corto y largo plazo.

La estabilidad de la escombrera de mina depende de la configuración, ubicación, forma de la cimentación y condiciones de la misma, así como de las características más importantes y la cimentación y su variación con el tiempo, metodología de la construcción, entre otros factores. Las consideraciones de estabilidad pueden variar dependiendo del nivel percibido de peligro o del periodo de exposición de la escombrera. De esta manera, se debe evaluar el potencial de varios tipos de inestabilidad, que pueden tener impacto en la ubicación y en la seguridad de la operación (Piña, 2014)

Se recomienda completar el estudio con análisis geomecánicas, geotécnicos e hidrogeológicos, y estudios de drenaje de rocas ácidas para asegurar la estabilidad del diseño a corto y largo plazo. Además, debe tener un plan de cierre técnico que determine el uso apropiado del sitio ocupado por la escombrera, con el fin de que la roca estéril tenga una

disposición adecuada en un lugar apropiado bajo parámetros de estabilidad técnica, social y ambiental.

4.2.3.5. Sociales políticas.

Los proyectos de desarrollo de recursos de cualquier lugar están sujetos a la creciente necesidad de regulación y permisos más estrictos. Los asuntos como protección ambiental, conservación de los recursos, concesión de explotación de tierras vírgenes, importancia arqueológica, estética, y competencia por usos de tierra reciben una mayor atención por parte de la sociedad y el Estado.

Esto es muy importante para el conflicto con la escombrera, pues en la mayoría de los conflictos se precisa la participación social ya que es fundamental para establecer la organización del territorio, y se considera que da legitimidad a la institucionalidad estatal y permite un valioso acercamiento con la sociedad. Esto teniendo en cuenta que las iniciativas locales deben ser tenidas en cuenta para el desarrollo de políticas y estrategias para la conservación de los recursos, sin duda anticipar los problemas permite un mejor manejo de estos.

Por lo tanto, el conflicto se configura mediante un proceso en donde se presenta una interacción social en el que personas, grupos y especies, establecen relaciones y se transmiten anhelos y expectativas (Rojas, 2018). Los conflictos sociales ambientales surgen como resistencia entre quienes contaminan el ambiente y quienes sufren sus efectos o perciben los riesgos que ello significa en su calidad de vida. Dentro de las causas más frecuentes de los conflictos se tienen:

- El acceso a la distribución de recursos (territorio, dinero, fuentes de energía, alimentos u otros).
- El control del poder y la participación en la toma de decisiones políticas (en organizaciones, en partidos o en cualquier otro grupo organizado).
- La defensa de la identidad (cultural, política, religiosa o de otra índole).
- La defensa del estatus o posición social (en espacios como los sistemas de gobierno, las jerarquías religiosas, las organizaciones políticas) (Rojas, 2018).

4.3. Caracterización de los estériles mineros

4.3.1. Granulometría

La granulometría del estéril afecta directamente la permeabilidad y la resistencia al corte. Generalmente, los materiales gruesos con poco polvo fino (menos del 200% de malla 10) tienen buena resistencia y alta conductividad hidráulica.

El tamaño de los estériles de las escombreras depende de una serie de factores como: litología, dureza, discontinuidades del macizo rocoso, técnica de arranque y/o voladura, manipulación y transporte, método de vertido, etc.

Tomando el juicio de (Castro & Carreño, 2008); el tamaño de las partículas está estrechamente relacionado con la segregación, que se produce cuando los residuos transportados se vierten en lo alto de la escombrera. Generalmente, las partículas gruesas producidas por separación natural y acumuladas al pie del talud se utilizan como método de drenaje del agua del vertedero.

4.3.2. Resistencia

La resistencia de los fragmentos estériles puede afectar la durabilidad y la resistencia al corte de los materiales de la escombrera.

En los vertederos pequeños, el material estéril está sometido a una tensión baja (menos del 25% - 50% de la resistencia a la compresión de la roca intacta), o donde los estériles sean muy resistentes, la resistencia intacta se conocerá a partir de relaciones empíricas dependiendo del tipo de roca, por ensayos de dureza en campo. En cambio, para escombreras de alto volumen, los materiales de la escombrera están sometidos a esfuerzos relativamente altos o son frágiles, los esfuerzos entre partículas alcanzan o superan la resistencia intacta de la roca, produciéndose el aplastamiento y rotura de las partículas. En este caso, deben realizarse estudios más detallados de la resistencia intacta que consistirán en ensayos de compresión simple (Castaño, 2011).

4.3.3. Plasticidad de los finos

La plasticidad de los finos afectará las características de resistencia al corte del material y debe indicar el tipo de mineral de arcilla que contiene. Si aparece una cantidad considerable de componentes de tamaño limo o menor en los estériles, se deberán determinar los Límites de Atterberg en laboratorio; permitiendo las características plásticas de estos materiales.

4.3.4. Resistencia al corte

Comprender las características de resistencia al corte de los materiales de descarga en la escombrera es esencial para un análisis y diseño correcto. La resistencia al cizallamiento efectiva del material estéril depende de una amplia gama de parámetros relevantes, incluida la resistencia completa de las partículas y la resistencia anisotrópica, el ángulo de las partículas, el tamaño de las partículas, la rugosidad de la superficie y las propiedades de fricción y la composición litológica, mineralógica y el grado de saturación (Galván, 2018). En este sentido,

la resistencia al corte puede cambiar con el tiempo debido a la consolidación y otros factores; filtración por oxidación y cambios químicos.

Para vertederos de gran tamaño y complejos, la tensión interna es alta y la deformación por consolidación, tensión interna y ajuste es bastante grande, además aparecerá una gran proporción de finos, por lo que se recomienda un mayor conocimiento de la resistencia al corte.

4.3.4.1. Criterio de rotura.

Un criterio de rotura es una relación entre tensiones que permite predecir la resistencia de una roca sometida a un campo tensional. En general, los criterios de rotura se refieren a la resistencia de pico, aunque también se pueden emplear para la resistencia residual. Los criterios de rotura más utilizados en mecánica de rocas son los de Mohr–Coulomb y Hoek–Brown (1980).

4.3.4.1.1. Criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

Este criterio postula que la resistencia al corte de las rocas tiene dos componentes: cohesión y fricción, siendo esta última dependiente de la tensión efectiva normal sobre el plano de rotura. Según esta teoría la resistencia al corte que puede desarrollar una roca en un plano que forma un ángulo β con la tensión principal menor, σ_3 , se puede expresar mediante la fórmula:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \theta$$

Donde:

τ = resistencia al corte

c = cohesión

σ_n = tensión efectiva normal

φ = ángulo de fricción

4.3.5. Durabilidad

La durabilidad de la roca y su potencial de degradación física y química afectan su resistencia al corte a largo plazo y la conductividad hidráulica de la escombrera; y afectan la circulación y filtración de fluidos. Además, el interperismo y el derrumbamiento mecánico ser acelerados por las condiciones de esfuerzo que aparecen en las grandes escombreras, por lo que deben tenerse en cuenta. (Castro & Carreño, 2008)

El estándar de durabilidad depende de los requisitos específicos del diseño. Los materiales más duros son adecuados para el drenaje y requieren una retención de características a largo plazo. Para materiales blandos, se recomienda construir el vertedero en una capa relativamente delgada. (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

4.3.6. Conductividad hidráulica

Para realizar análisis de filtración y conocimiento de drenaje interno, es necesario estimar la conductividad hidráulica de los materiales en el botadero. Del mismo modo, la conductividad hidráulica se utiliza para comprender las condiciones de presión dentro del vertedero de basura, lo que puede provocar inestabilidad.

(Castro & Carreño, 2008) establece que las estimaciones de la conductividad hidráulica generalmente se basan en una correlación empírica con el análisis del tamaño de partículas, por lo que existen partículas finas o materiales fácilmente degradables. Las propiedades hidráulicas de los estériles son muy variables, apareciendo valores entre 10^{-2} m/s, para estériles ígneos y metamórficos, y 10^{-9} m/s para materiales arcillosos.

4.3.7. Consolidación

El proceso de consolidación que sufre la escombrera durante y después de su construcción influye la densidad del material y las características de resistencia al corte de la estructura. Dependiendo de los parámetros de construcción, diferentes áreas dentro del vertedero pueden experimentar diferentes tensiones de compactación.

Las características de los asentamientos pueden variar, produciéndose asentamientos diferenciales en el tiempo y su consecuente rotura, la cual puede conducir a la rotura de la superficie y generando infiltraciones en la escombrera.

4.3.8. Características geoquímicas

Las propiedades geoquímicas del material estéril, puede tener un impacto significativo en el medio ambiente. Las aguas subterráneas y superficiales que circulan en el material pueden transportar contaminantes como metales pesados (Actis, 2009).

La composición química del estéril varía de los labores y tipo de explotación minera, ya que no dependen de la litología del material extraído en sí, sino también de los métodos de tratamiento y descarga, las condiciones climáticas y la meteorización dentro de los depósitos.

La composición química de los materiales puede variar tanto vertical como horizontalmente debido a cambios en la calidad de los estériles, cambios en las leyes de corte por las fluctuaciones del mercado y por cambios en los procesos mineralúrgicos de concentración, meteorización y lixiviación. Muchos residuos mineros tienen en su composición metales que, aun estando presentes en pequeñas cantidades, son tóxicos, y el grado de contaminación producido por las aguas superficiales de escorrentía y lixiviados puede llegar a ser muy alto.

Es muy importante considerar la formación de ácidos a partir de estériles sulfurosos. Si aparece un drenaje ácido, se deberán establecer ciertas medidas de mitigación, que se podrán clasificar en medidas de control de la fuente y medidas de control de la migración (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

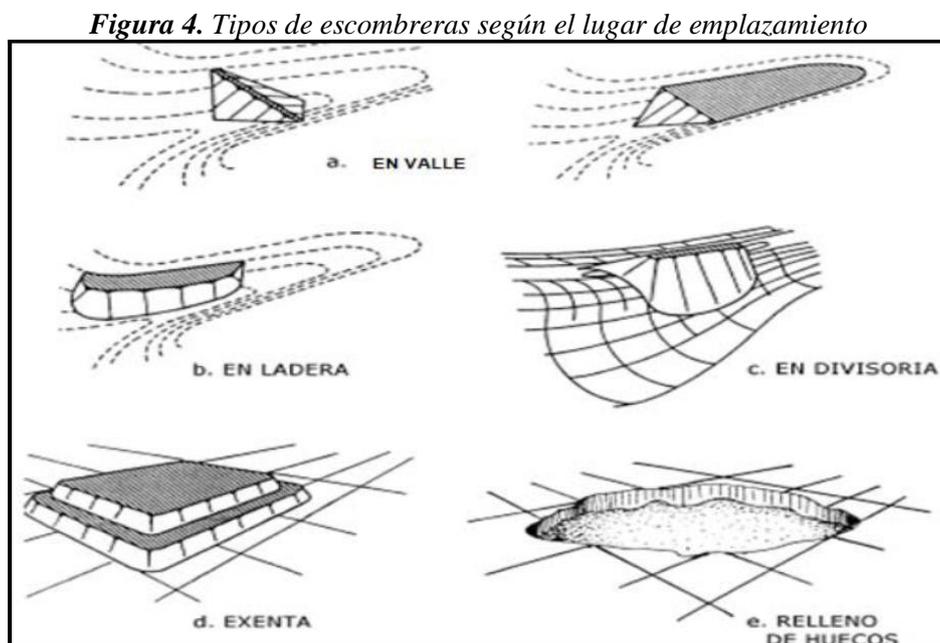
4.4. Emplazamiento de una escombrera

4.4.1. Criterios para el lugar de emplazamiento

En la minería, una vez que se delimita el área de emplazamiento para la ubicación de una escombrera, se deben considerar los criterios técnicas, económicas, socioeconómicas y ambientales, que juntos determinan el tamaño y la forma de la escombrera.

Otros de los criterios específicos que hay que tomar en consideración es la distancia de transporte desde la explotación hasta el apilamiento del material estéril, lo que incide en el costo total de la operación; la capacidad de almacenamiento necesaria depende de la cantidad de material estéril a transportar; y las opciones potenciales que pueden producirse sobre el medio natural y las modificaciones sobre el medio ambiente.

En función del lugar de emplazamiento y de su configuración, (Castro & Carreño, 2008) propone que las escombreras pueden clasificarse en los siguientes tipos: de vaguada, de ladera, de divisoria, exenta y de relleno de huecos (Figura 4).



Fuente: (Castro & Carreño, 2008).

4.4.2. Metodología para la elección del emplazamiento

La selección de la zona del vertedero persigue diversos objetivos, entre los que cabe destacar los siguientes puntos:

- Minimizar los costes de transporte y vertido.
- Alcanzar la integración y restauración de la estructura en el entorno.
- Garantizar el drenaje.
- Minimizar el área afectada.
- Evitar la alteración sobre hábitats y especies protegidas.

Como resultado de las limitaciones ambientales y económicas que afectan el proceso elección de un vertedero para material estéril, es evidente realizar una evaluación exhaustiva de las diferentes alternativas para ubicar el vertedero (Blanco, 2012). A continuación, se presentan los métodos más utilizados para la elección del emplazamiento:

4.4.2.1. Método del Índice de Calidad.

El sistema propuesto por (Ayala & Rodríguez, 1986) sirve como instrumento de elección preliminar cuando las diversas alternativas existentes para el emplazamiento de la escombrera no resultan lo suficientemente definitivas. El método propuesto pasa por determinar el llamado índice de calidad del emplazamiento, Q_e , mediante la siguiente expresión:

$$Q_e = \alpha * (\beta * \theta)^{(\delta+n)}$$

Cada uno de los parámetros que definen el índice de calidad son:

A. Factor α de alteración de la capacidad portante del terreno debido al nivel freático.

Los valores que puede tomar son los siguientes:

$\alpha = 1$ sin nivel freático o con nivel a profundidad superior a 5 m.

$\alpha = 0,7$ con nivel freático entre 1,5 y 5 m.

$\alpha = 0,5$ con nivel freático a menor profundidad de 0,5 m

$\alpha = 0,3$ con agua socavando menos del 50 % del perímetro de la estructura.

$\alpha = 0,1$ con agua socavando más del 50 % del perímetro de la estructura.

B. Factor de resistencia de la cimentación, β . Depende de la naturaleza del cimiento y de la potencia de la capa superior del terreno de apoyo (tabla 1):

Tabla 1. Factor de resistencia de la cimentación, β

TIPO DE SUELO	POTENCIA				
	< 0,5 m	0,5 a 1,5 m	1,5 a 3,0 m	3,0 m a 8,0 m	> 8 m
Coluvial granular	1	0.95	0.9	0.85	0.8
Coluvial de transición	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
Coluvial limo-arcilloso	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
Aluvial compacto	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
Aluvial flojo	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

C. Factor topográfico o de pendiente, θ . Varía en función de si la implantación se efectúa en terraplén o en ladera y en función de la inclinación de la zona (tabla 2):

Tabla 2. Factor topográfico o de pendiente, θ

TOPOGRAFÍA DE IMPLANTACIÓN		VALOR
TERRAPLEN	Inclinación < 1 °	1
	Inclinación entre 1 ° y 5 ° (< 8 %)	0.95
	Inclinación entre 5 ° y 14 ° (de 8 % a 25 %)	0.9
LADERA	Inclinación entre 14 ° y 26 ° (de 25 % a 50 %)	0.7
	Inclinación > 26 ° (> 50 %)	0.4
	Perfil en V cerrada (inclinación de laderas > 20 °)	0.8
	Perfil en V abierta (inclinación de laderas < 20 °)	0.60 - 0.70

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

D. El factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η , considera el riesgo de ruina de distintos elementos si se produjera la destrucción de la escombrera (tabla 3):

Tabla 3. Factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η

ENTORNO AFECTADO	VALOR
Deshabitado	1
Edificios aislados	1.1
Explotaciones mineras poco importantes	1.1
Servicios	1.2
Explotaciones mineras importantes	1.3
Instalaciones industriales	1.3
Cauces intermitentes	1.2-1.4
Carreteras de 1 ° y 2 ° orden, vías de comunicación	1.6
Cauces fluviales permanentes	1.7
Poblaciones	2

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

E. Factor de alteración de la red de drenaje, δ , que viene dado por (tabla 4):

Tabla 4 Factor de alteración de la red de drenaje, δ .

ALTERACIÓN DE RED DE DREANJE	VALOR
Nula	0
Ligera	0.2
Modificación parcial de la escorrentía de una zona	0.03
Ocupación de un cauce intermitente	0.4
Ocupación de una vaguada con drenaje	0.5
Ocupación de una vaguada sin drenaje	0.6
Ocupación de un cauce permanente con erosión activa menor del 50 % del perímetro de la estructura	0.8
Ocupación de un cauce permanente con erosión activa mayor del 50 % del perímetro de la estructura	0.9

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

Tras la obtención de los distintos parámetros se puede llegar a calcular cuál es el valor del índice de calidad Q_e . Según el valor obtenido, los emplazamientos se clasifican de acuerdo con (tabla 5):

Tabla 5. Clasificación de los emplazamientos según valor de Q_e

VALOR DE Q_e	EMPLAZAMIENTO
$1 < Q_e < 0,90$	Óptimo para cualquier tipo de estructura. Tolerable para estructuras de gran volumen.
$0,90 < Q_e < 0,50$	Adecuado para estructuras de volumen moderado
$0,50 < Q_e < 0,30$	Tolerable
$0,30 < Q_e < 0,15$	Mediocre
$0,15 < Q_e < 0,08$	Malo
$Q_e < 0,08$	Inaceptable

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

4.4.3. Estudio de emplazamiento

El conocimiento de las propiedades del cimientó y de los materiales de la escombrera será necesario para realizar un diseño correcto de la misma.

Para seleccionar y obtener muestras representativas de los materiales, interpretar correctamente los resultados y aplicarlos al diseño, se requiere un conocimiento adecuado de ciertas propiedades físicas del medio. El tipo y cantidad de ensayos necesarios variará dependiendo de los siguientes factores: complejidad de las condiciones del emplazamiento, localización, tipo, tamaño y configuración de la escombrera, y características medioambientales. (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

4.4.3.1. Sustrato rocoso del cemento.

A continuación, se describirán las propiedades más importantes de los suelos del cemento, así como su aplicación en el diseño y sus métodos de medida en campo y en laboratorio. Esta descripción también se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 6. Propiedades del sustrato rocoso del cemento y ensayos a realizar.

PROPIEDAD DEL MATERIAL	APLICACIÓN	ENSAYO EN CAMPO	ENSAYO EN LABORATORIO
DESCRIPCIÓN <ul style="list-style-type: none"> ▪ Litología ▪ Origen ▪ Textura y microestructura 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clasificación ▪ Correlación entre resistencia intacta y al corte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Descripción en campo ▪ Clasificación preliminar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis microscópico ▪ Clasificación detallada
PROPIEDADES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Correlación entre resistencia y conductividad hidráulica Evaluación del potencial de separación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estimación visual ▪ Examen en campo ▪ Ensayo de separación en campo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cribado ▪ Medida de la humedad (hidrómetro)
RESISTENCIA INTACTA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidad ▪ Correlación con la resistencia al corte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de carga puntual ▪ Dureza en campo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo triaxial ▪ Ensayo de compresión simple
RESISTENCIA ALCORTE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Criterio de rotura ▪ Estabilidad de escombreras 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de corte en campo ▪ Ángulo de reposo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayos de corte directo o Triaxial
MINERALOGÍA Y PETROGRAFÍA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidad ▪ Microestructura ▪ Clasificación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ensayo de acidez 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Difracción de Rx
DURABILIDAD	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de la conductividad hidráulica ▪ Duración en firmes y base de cimentación ▪ Reducción de la resistencia al corte 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meteorización de la superficie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durabilidad al desmenuzarse Ensayos de abrasión
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estimación de la infiltración ▪ Predicción de las condiciones piezométricas ▪ Cálculo del drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Correlación basada en la granulometría 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compactación y permeabilidad
CONSOLIDACIÓN Y ASENTAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia al corte ▪ Consolidación y asentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso unitario a partir del esponjamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪
GEOQUÍMICA	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacto medio-ambiental ▪ Riesgo por lixiviación de metales pesados ▪ Drenajes ácidos. ▪ Neutralización 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinación de surgencias de agua ▪ Medida del pH en flujos de agua, conductividad, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Medida de la acidez ▪ Ensayos para determinar contaminantes

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

4.5. Construcción de escombreras

El método de construcción de escombreras tiene una gran importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de la misma, predominando la estratificación horizontal o la paralela al talud. Además, se deberá prestar una especial atención al sistema de vertido.

Por otro lado, el recrecido de la escombrera se debe realizar de la forma más homogénea posible, que será por capas o tongadas horizontales.

4.5.1. Preparación del cimient

Los trabajos de preparación de los terrenos a ocupar pueden ir desde un simple desbroce, con eliminación de la vegetación existente antes del vertido, hasta una completa retirada selectiva de los horizontes de suelo más superficiales y su posterior aprovechamiento en los trabajos de restauración, así como la deforestación previa de esas superficies.

En algunos emplazamientos se pueden precisar distintas actuaciones además de las indicadas, tales como el refuerzo o consolidación del material de la base de apoyo, o la construcción de un sistema de drenaje (Castaño, 2011). El grado de preparación del cimient debe valorarse económicamente y compararse con los costes de tratamiento de otras posibles alternativas teniendo en cuenta los diseños de esas estructuras, las secuencias constructivas y los ritmos de vertido.

4.5.2. Drenaje

La (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008), establece que el control del agua es un aspecto básico en la construcción y operación de las escombreras. Las fuentes principales de agua que deben considerarse con vistas al drenaje de las escombreras y las superficies circundantes de éstas son las siguientes:

- Escorrentías de los terrenos que constituyen la cuenca de recepción de las escombreras.
- Precipitaciones directas de agua o nieve sobre la escombrera.
- Filtraciones del cimient de apoyo o de laderas ocupadas por la escombrera.
- Labores subterráneas abandonadas que actúan como vías de drenaje de las explotaciones.
- Arroyos o cauces de agua existentes en emplazamientos de vaguada.

Los fenómenos principales que deben estudiarse con relación a estas fuentes de agua son: la estabilidad y erosión de las escombreras, así como la calidad de las aguas procedentes de dichos depósitos.

Existen ciertas normas o recomendaciones encaminadas a mejorar la resistencia de las masas de estériles frente a los deslizamientos, así como a rebajar los niveles de agua dentro de las estructuras. Para (Piña . B & Cazal, 2015), si existe agua estancada en la base de apoyo deberá ser drenada antes de verter los primeros estériles o, si esto no es posible, rellenar dichas zonas con material de escollera.

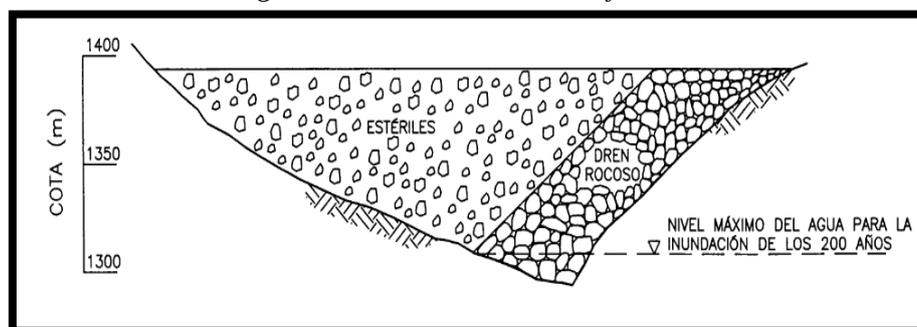
Cuando las escombreras se construyan en terrenos montañosos ocupando vaguadas, se deberá procederá la construcción previa de canales de desvío de los cauces naturales, aunque éstos sean estacionales, así como de sistemas de decantación aguas abajo de dichas estructuras (Blanco, 2012). En general, los cursos de agua superficiales que puedan afectar a las escombreras se desviarán con anterioridad a su construcción. Una alternativa recientemente utilizada en algunas explotaciones ha sido la de colocar drenes rocosos en las bases de las escombreras, constituidos por bloques de roca dura competente estratégicamente colocados o segregados naturalmente en el pie de los depósitos al efectuar el vertido directo de esos materiales, y a través de los cuales el agua puede circular fácilmente (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008), figuras 5 y 6.

Figura 5. Drenaje del talud de la escombrera



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

Figura 6. Colocación del drenaje rocoso



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

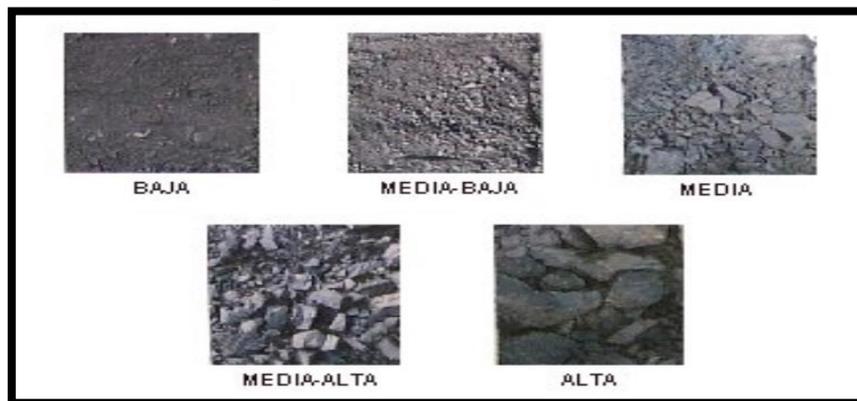
4.5.3. Control de la calidad de los materiales

El material vertido puede variar considerablemente en su resistencia y durabilidad. Como con cualquier material ingenieril, son ideales las rocas duras y durables, y los fragmentos gruesos y angulares resistentes. En el extremo opuesto están los materiales con alto contenido de finos o que tienen una baja durabilidad y, por ello, una tendencia a romperse con el tiempo. (Castro & Carreño, 2008)

Como establece (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008) una clasificación de la calidad de los estériles basándose en el tamaño de grano y en su composición, como por ejemplo de la forma siguiente, figura 6:

- a) **Calidad alta:** predominancia de fragmentos de arenisca de tamaños mayores de 0,3 m.
- b) **Calidad media-alta:** predominancia de fragmentos de arenisca y limonita de 0,2-0,3 m de diámetro y con muestras de material arenoso y gravas.
- c) **Calidad media:** predominancia de fragmentos de arenisca y limonita menores de 0,1 m y muestras de tamaños finos.
- d) **Calidad media-baja:** areniscas y limonitas muy fragmentadas con muestras de rocas arcillosas y finos.
- e) **Calidad baja:** terreno vegetal, arcilla y muestras de rocas arcillosas muy fragmentadas.

Figura 7. Calidad de los estériles



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

En general, la roca de calidad media y alta se suele utilizar como material de drenaje, mientras que las rocas de calidad inferior se colocarán en zonas cuya estabilidad esté garantizada (cerca del terreno natural, entre dos escombreras construidas con materiales de alta calidad, zonas de cimentaciones planas y zonas de mezcla con materiales de alta calidad) (Casadiego quintero, Gutiérrez Bayona, Herrera Lopez, & Villanueva Paez, 2017).

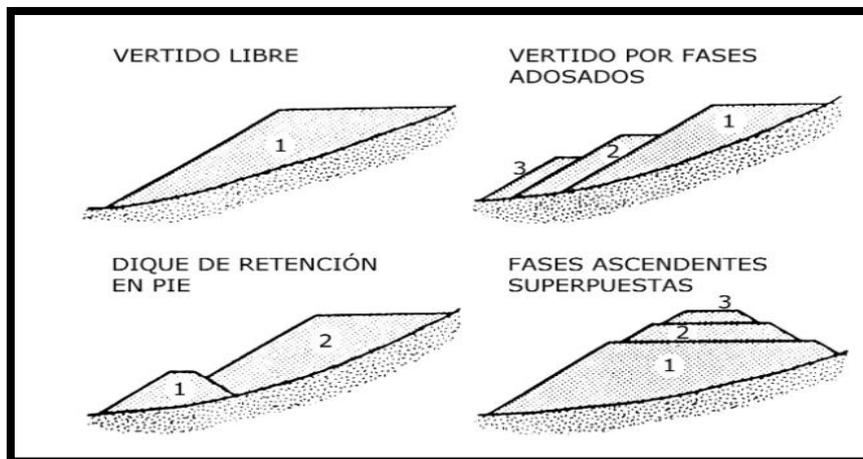
4.5.4. Métodos y sistemas constructivos

En el diseño de una escombrera se deben tener en cuenta una serie de consideraciones para determinar las distintas zonas de vertido, así como maximizar la longitud de la cresta de la escombrera. Esta planificación presenta dos ventajas:

- Si aparece una superficie de rotura en una zona del depósito o la subsidencia de la cresta es excesiva, las operaciones en esta parte de la escombrera pueden ser suspendidas hasta alcanzar condiciones estables.
- Si se puede verter sobre una gran longitud de cresta de talud, el ritmo de avance disminuirá, reduciéndose la carga aplicada sobre la cimentación y la correspondiente generación de altas presiones intersticiales en la zona del pie. Un ritmo lento de avance también permite una mayor consolidación de los materiales y un aumento en su resistencia al corte (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

Los tipos de escombreras que pueden distinguirse de acuerdo con la secuencia constructiva de las mismas en terrenos con pendiente, que es el caso más habitual, son cuatro: vertido libre, por fases adosadas, con dique de pie y por fases superpuestas, figura 8.

Figura 8. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

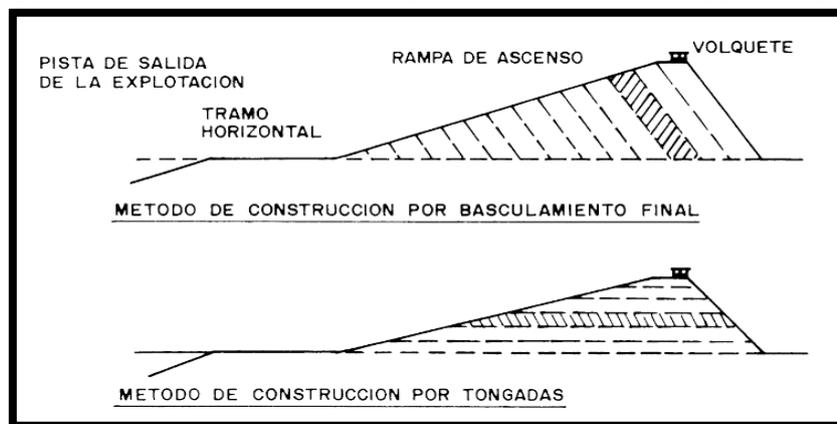
La formación con vertido libre sólo es aconsejable en escombreras de pequeñas dimensiones y cuando no exista riesgo de rodadura de piedras aguas abajo. Se caracteriza por presentar en cada momento un talud que coincide con el ángulo de reposo de los estériles y una segregación por tamaños muy acusada. De los cuatro tipos es el más desfavorable geotécnicamente, aunque ha sido el más utilizado hasta épocas recientes (Castro & Carreño, 2008).

Cuando los estériles que se van a verter no son homogéneos y presentan diferentes litologías y características geotécnicas, puede ser conveniente el levantamiento de un dique de pie con los materiales más gruesos y resistentes, de manera que actúen de muro de contención del resto de los estériles depositados (Piña . B & Cazal, 2015)..

Así pues, la secuencia constructiva de una escombrera incide directamente sobre la estabilidad de tales estructuras y sobre la economía de la operación, llegando a ser preciso en algunos casos una solución de compromiso entre ambos factores.

En estrecha relación con el procedimiento de vertido se encuentra el método de construcción, que puede ser por basculamiento final o en retroceso por terrazas, figura 9.

Figura 9. Métodos de construcción por basculamiento final y por tongadas



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

El método de basculamiento final consiste en descargar los estériles desde una gran altura, consiguiendo las condiciones de drenaje por la segregación natural que sufre el material durante el descenso por rodadura. Los bloques grandes se encontrarán en el pie del talud, disminuyendo la granulometría en sentido ascendente.

El método por terrazas consiste en depositar y compactar los estériles en capas, con lo que se aumenta notablemente la resistencia al corte y la capacidad de vertido, pues se reduce el efecto de esponjamiento.

Normalmente, la mayoría de las grandes escombreras se construyen en capas gruesas formando bancos con una altura vertical de 10 m o más. La estabilidad de la escombrera se puede controlar a partir del espesor y longitud de las bermas y del espaciamiento vertical entre ellas. La construcción de escombreras en banco permite disminuir el ángulo del talud total (Castro & Carreño, 2008).

5. Metodología

5.1. Materiales

CAMPO	
Geología	Topografía
<ul style="list-style-type: none">▪ Brújula Brunton▪ Martillo geológico▪ GPS Garmin▪ Fundas transparentes▪ Lápiz, marcador permanente▪ Fichas de campo▪ Ácido Clorhídrico▪ Lupa 20x▪ Rayador magnético	<ul style="list-style-type: none">▪ Estación Total SOKKIA SET 600
GABINETE	
<ul style="list-style-type: none">▪ Carta Geológica de Zamora, escala 1:100000 del año 2017▪ Computador▪ Software ArcGis 10.2▪ Software AutoCad 2020	

5.2. Ensayos

5.2.1. Resistencia a la compresión simple o uniaxial

1) Norma de referencia

ASTM D2938

2) Procedimiento

- Revisar la capacidad del asiento esférico para rotar libremente en su soquete antes de cada ensayo.
- Limpiar las superficies de apoyo de ambas placas y del espécimen de ensayo y ponga el espécimen en la placa inferior.
- Aplicar la carga axial en forma continua y sin shock hasta que la carga se vuelva constante, se reduzca o se logre un monto predeterminado de tensión.
- Aplicar la carga de manera tal que se produzca una tasa de estrés o bien una tasa de tensión que sea tan constante como posible a lo largo de todo el ensayo.
- Registrar la carga máxima sostenida por el espécimen

5.2.2. Ensayo Estándar para determinar el ph

3) Norma de referencia

ISO 11464

4) Procedimiento

- Secar la muestra de ensayo y Triturar la roca.
- Mezclar en un vaso de precipitados 40 g de roca triturada seco, con 40 ml de agua destilada.
- Remover bien la mezcla suelo/agua con una cuchara u otro utensilio. Remover la mezcla durante 30 segundos y dejar reposar tres minutos. Repetir este proceso cinco veces. Después dejar que la muestra vaya decantando hasta que se forme un sobrenadante (líquido claro sobre el suelo depositado), alrededor de cinco minutos.
- Medir el pH del sobrenadante utilizando un pH-metro o tiras de pH. Introducir el pH-metro calibrado o la tira de pH en el sobrenadante. Registrar el valor de pH en la Hoja de Datos de pH del Suelo

5.3. Métodos

5.3.1. Método de estudio

- **Exploratorio:** Se investigó un problema poco tratado, en referencia al manejo y disposición final de los escombros en la asociación minera, sin tomar en cuenta parámetros y método de diseño propicios para evitar daño o afectaciones ambientales y riesgos.
- **Técnico:** Se efectuó la investigación exploratoria de campo, para la obtención de los datos necesarios que sirvió para el desarrollo del tema, con el fin de detectar aspectos fundamentales de la problemática que se tiene con el material estéril.
- **Científico:** Este trabajo de investigación considera el método científico como eje principal, porque considera dos métodos, a saber, métodos cuantitativos y métodos cualitativos. Los métodos cuantitativos son secuenciales y demostrativos. Utiliza la recopilación de datos para probar hipótesis, teorías y construir métodos y diseños de escombros.
- **Inductivo.** Esto es útil y necesario para preparar este estudio, ya que, en relación a la ubicación de la fuente de escombros, realizamos observaciones directas para determinar un patrón general que nos permitió analizar cómo este tema afecta el medio ambiente.
- **Descriptivo:** Permite observar y describir el área de estudio, para determinar los parámetros o factores en el diseño de la escombrera, considerando la geología y la topografía del sector.

- **Analítico:** Para la elaboración de la investigación se analizó la realidad de la disposición de la escombrera antitécnica, y se trató de entender el problema de los escombros y los riesgos que pueden existir por un mal diseño; lo cual se hizo necesario analizar para tomar los parámetros de un diseño técnico y formular recomendaciones y/o solucionar un problema latente.

5.4. Metodología

5.4.1. Primer Objetivo

“Realizar la caracterización geológica estructural del área del estudio”

5.4.1.1. Levantamiento Topográfico.

Se generó un mapa topográfico a detalle como base fundamental para cumplir con los objetivos del proyecto; para el efecto se utilizó la estación total SOKKIA SET 600, colocando una estación georeferenciada con navegador GPS en un punto que tenga la mayor visibilidad al área de estudio de la concesión minera y se elevó con un prisma el punto de cambio de pendiente del terreno; en el área de estudio, colocando más de una estación para realizar el levantamiento de forma correcta y precisa. Para colocar y georeferenciar las estaciones auxiliares se usa la misma estación total, aplicando el método de vista atrás. Por lo que las estaciones de trabajo adyacentes deben ser visibles entre sí.

Una vez levantados los datos se procedió a descargarlos al ordenador usando el software propio del equipo topográfico, mismo que tiene la opción de convertir los datos a formato ECXEL. La información obtenida consiste en coordenadas en tres planos (x,y,z). Obtenidos estos datos, se generó el mapa topográfico, para lo cual se importa los datos de EXCEL al software ArcGis 10.2. Para crear las curvas de nivel se usó la herramienta: 3D Analyst Tools → RasterInterpolation → Natural Neighbor, con lo cual se genera un ráster de elevación; luego se usa la herramienta 3D Analyst Tools → RasterSurface → Contour, y se establece el intervalo de distancias entre curvas de nivel a cada 4 metros. Finalmente se verificó que la interpolación dada por software coincida con el relieve real; creando polígonos y polilíneas uniendo puntos levantados en el trabajo de campo y así, obtener una carta topográfica escala de la asociación minera de Hecho Cordillera del Cóndor.

5.4.1.2. Levantamiento Geológico Estructural.

Para la descripción geológica del presente estudio se basó en la geología regional, como base el Mapa Geológico de Zamora Escala 1:100 000, Hoja 77, Ñ VII-A; en donde se tomó información correspondiente a geología histórica, unidades litológicas y estructuras.

La siguiente etapa del trabajo es obtener la geología local del área de estudio, este incluye en realizar el estudio geológico en campo a detalle, para lo cual se geolocalizó los afloramientos naturales y artificiales para visualizar las condiciones geológicas, y obtener una descripción geológica detallada de cada afloramiento y a la vez tomar datos estructurales de los estratos. Cada dato adquirido ha sido colocado en la base de datos, distinguiendo por color las diferentes litologías existentes en el sector. Todos los datos colectados en campo, se los representa en el esquema geológico – estructural del área.

5.4.2. Segundo objetivo

“Establecer las alternativas para la ubicación de la escombrera de estéril en zona de estudio”

Una vez realizado el levantamiento topográfico y geológico, a través del mapa topográfico obtenido por medio de los puntos tomados en campo y digitales proporcionadas por el software ArcGis 10.2, se toma en consideración los siguientes aspectos para el emplazamiento y ubicación de la escombrera. Para poder establecer parámetros técnicos se realizó la revisión de la Normativa Ecuatoriana para la construcción de estructuras de escombreras y la “Guía para el Diseño y Construcción de Escombreras” elaborado por la Junta de Andalucía (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008).

- **Metodología para la elección del emplazamiento**

Para la elección del emplazamiento, se empleó el método de Índice de Calidad, determinado y describiendo cada uno de los factores, de alteración de la capacidad portante del terreno debido al nivel freático, de resistencia de la cimentación, topográfico o de pendiente y el factor relativo al entorno humano y material afectados. Finalmente se tomó en consideración las propiedades analizadas del cimiento rocoso; además de las características geológicas básicas del cimiento rocoso que, normalmente, serán evaluadas para determinar la mejor alternativa para el emplazamiento de la escombrera durante la fase de investigación en campo.

- **Lugar de emplazamiento**

Para seleccionar el lugar de emplazamiento; se lo hizo en función del lugar de emplazamiento y de su configuración, estas pueden clasificarse en los siguientes tipos: de vaguada, de ladera, de divisoria, exenta y de relleno de huecos. A su vez, se toma en consideración criterios específicos entre los que se encuentran la distancia de transporte desde la explotación hasta la escombrera, la capacidad de almacenamiento necesaria y la superficie a utilizar. Estos parámetros están en dependencia del volumen a depositar

en función del tiempo y volúmenes de producción (tn/mes) en los frentes del área de la concesión minera, para ello se tomó en consideración los datos del concesionario; así como la proyección de la mina.

▪ **Estudio del emplazamiento:**

Topografía: Se tomó en consideración las características que presenta la superficie o el relieve de la concesión obtenidos en el levantamiento topográfico, escala 1:2500 DATUM WGS 84; la cual, se determina si es una topografía escarpada irregular, gradientes fuertes y zonas planas.

Red hídrica: En una primera etapa se delimitó la cuenca hidrográfica de la parroquia de Guaysimi, hasta determinar la red hídrica de la concesión minera; es decir, se describirá la red hídrica regional, con ayuda de la base topografía y observación directa *in - situ*; hasta delimitar la red hídrica.

Clima: Se describió el tipo de clima del área de estudio, esto se lo hará por medio del PDOT del Cantón Nangaritza, para así estimar la acción de los agentes que producen una meteorización que se traduce en transformaciones químicas, desintegración y fragmentación de las rocas, siendo las precipitaciones y la temperatura los principales factores. La determinación de la meteorización sobre el material estéril se realizó por medio de una observación *in situ*, observando la coloración, el tipo de grietas y fracturas.

Vegetación: Se identificó el tipo de vegetación, la cual puede ser: herbácea, arbustiva y arbórea; para sí, realizar los trabajos de preparación del terreno a ocupar, que pueden ir desde un simple desbroce, con eliminación de la vegetación nativa existente antes del vertido.

Geología: Al elegir el lugar de asentamiento de una escombrera es preciso realizar una investigación de la litología de campo para determinar, las características geomecánicas de los materiales que constituirán la base del depósito; así como obtener muestras para la realización de ensayos de compresión uniaxial en el laboratorio de rocas de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la universidad Nacional de Loja.

Por lo tanto, la función de determinar los parámetros del material a verter y del terreno es para establecer la capacidad de la escombrera en función de la proyección de la mina.

5.4.3. Tercer Objetivo

“Diseñar y caracterizar la escombrera de estéril, en función de los parámetros geológicos, geotécnicos y estructurales”

Se definió los criterios técnicos; así como la elección del método de análisis para el diseño de las escombreras, también se considera la elección del sistema del diseño y finalmente la elección del procedimiento para la evaluación de las alternativas de diseño técnico. En esta etapa se hará la evaluación técnica de la escombrera; tomando en cuenta cada uno de los aspectos para el diseño, como son:

- **Sistema constructivo:** Finalmente, se determinó la secuencia constructiva, la cual; está sujeto a la geología, la topografía, del emplazamiento y el drenaje del diseño técnico; así como la estabilidad de la escombrera, caracterizando los factores que afectan la estabilidad; como la altura de vertido, volumen del vertido y talud del vertido; ya que estos están en función de la proyección de la mina.
- **Preparación del cimiento:** Definirá el conjunto de operaciones ejecutadas sobre un terreno con los instrumentos adecuados para poder confeccionar una correcta representación gráfica o plano de la escombrera. Esta caracterización incluye todas las operaciones realizadas en campo y en gabinete, aplicando métodos y técnicas para realizar mediciones que permitan definir la ubicación de puntos característicos del terreno y así, obtener las siguientes características litológicas estructurales del área de estudio.
- **Drenaje de aguas ácidas:** el manejo del agua para el diseño técnico, es un aspecto básico en la construcción y operación de las escombreras; es por eso que se tomó en cuenta los siguientes aspectos: escorrentías de los terrenos precipitaciones directas de agua, filtraciones del cimiento de apoyo o de laderas ocupadas por la escombrera, arroyos o cauces de agua existentes en emplazamientos de vaguada; y así como, el manejo del DAR; se aplicará el método de mezcla con estériles, que según (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008), cuando se dispone de estériles que reúnen materiales generadores de ácido y materiales que lo consumen, la mezcla de ambos puede ser una opción muy adecuada, junto con otros métodos complementarios, para disminuir la generación de ácido al equilibrar su potencial de oxidación con el de alcalinidad. Un diseño de drenaje establecerá fenómenos principales que deben estudiarse con relación a estas fuentes de agua son: la estabilidad y erosión de las escombreras. Para ello, se empleará una red de drenaje de fondo, definiendo las secciones, pendiente y distribución de conductos y su revestimiento (geotextil, plástico, etc.) para su impermeabilización. `

6. Resultados

6.1. Descripción General de área de estudio

6.1.1. Ubicación y acceso

De acuerdo a la división política administrativa, el área de trabajo de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410, constituida por 296 ha se encuentra ubicado en el sector Cerro Colorado, de la parroquia de Guayzimi; al sur de la República del Ecuador, al nor-occidente del cantón Nangaritza, perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe. Los sitios de interés para el emplazamiento de la escombrera y su influencia, se encuentra al lado Noreste de la quebrada de Guayzimi, fuera de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor.

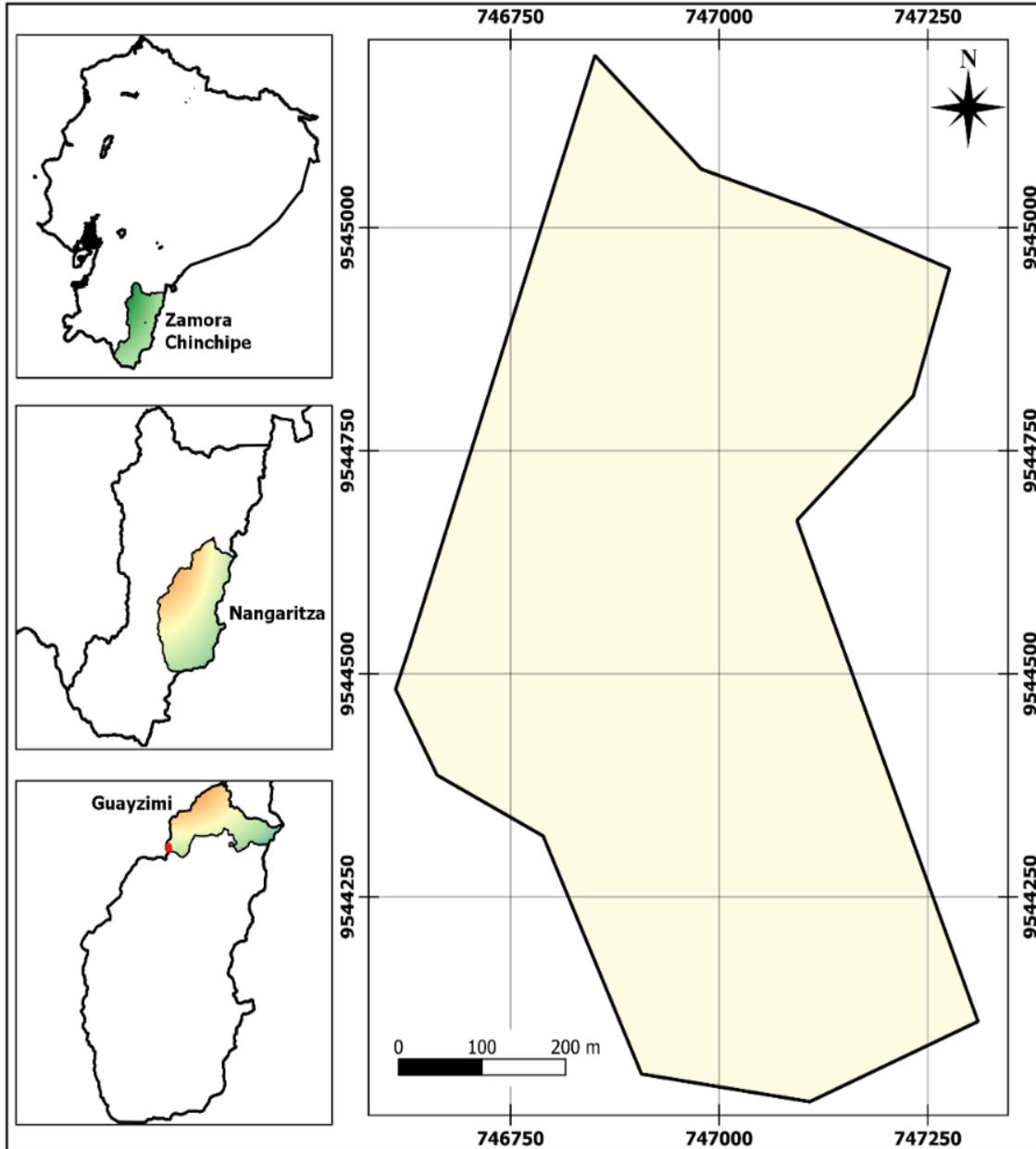
A continuación, se detallan las coordenadas geográficas (*Tabla 7*) UTM WGS 84, que definen el área de trabajo de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410

Tabla 7. *Coordenadas UTM/WGS 84 de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410*

Longitud	Latitud	Altura
746858	9545188	2512
746863	9545187	2416
746986	9545065	2372
747140	9545015	2304
747271	9544955	2328
747221	9544812	2388
747087	9544674	2392
747254	9544318	2396
747291	9544123	2664
747107	9544011	2504
746918	9544059	2544
746795	9544305	2604
746648	9544450	2604

Elaborado por: El Autor, 2022

Figura 10. Ubicación del área de estudio



Elaborado por: El Autor, 2022

El acceso a la zona de estudio se lo puede realizar desde la vía de primer orden Loja a Zamora realizando un recorrido de 62,7 km partiendo desde la ciudad de Loja, seguido en una vía de primer orden se accede a la parroquia San Carlos de las minas, con un recorrido de 26,5 Km y finalmente en una vía de segundo y tercer orden se accede a la Sociedad Minera Cordillera del Cóndor; con un recorrido de 31 Km aproximadamente.

6.2. Marco Geológico Estructural

6.2.1. Geología Regional

La región Oriental se halla conformada por dos zonas: la Cuenca Amazónica y la Zona Subandina. La Cuenca Amazónica es parte del tras arco de los Andes ecuatorianos, compuesta por sedimentos marinos y continentales que alojan los principales campos petrolíferos del país. La Zona Subandina es la división morfoestructural transicional entre la cuenca amazónica y la sierra andina alta. Comprende una franja relativamente estrecha de rocas falladas y deformadas que pertenecen tanto a la Cordillera Real como a las secuencias sedimentarias de la Cuenca Amazónica.

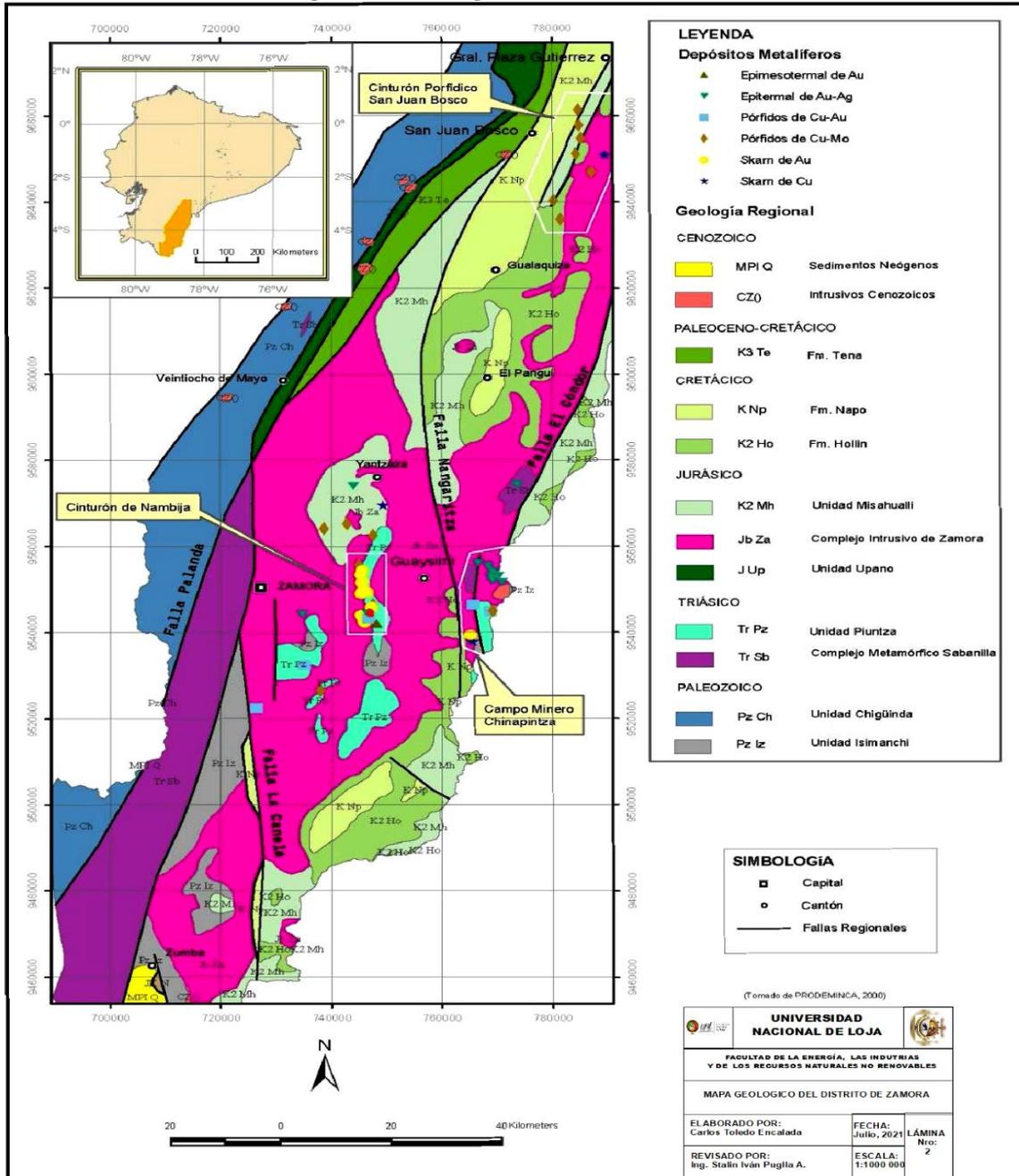
Regionalmente el cantón Nangaritza, pertenece a la zona subandina, y la inmensa región plana de la cuenca amazónica. El oriente puede ser geológicamente subdividido en dos; la plataforma tectónicamente más estable del oriente, y la zona subandina estratigráficamente similar, la que está ligada a Los Andes.

En el extremo sur del Cinturón Nambija, la Unidad Piuntza está parcialmente sobre la Unidad Isimanchi de la Formación Macuma. En la parte norte, en cambio la secuencia esta aparentemente sobrepuesta por las volcanitas calco-alcalinas Jurásicas de la Formación Misahuallí.

El distrito minero de Zamora comprende parte de la región morfo estructural de la Sierra del Cóndor dentro de la Zona Subandina. Este distrito incluye los campos mineros del Cinturón de Nambija, Campo Minero de Chinapinza y el Cinturón Porfídico San Juan Bosco (*Figura 12*).

Las rocas de skarn tienen estructura masiva, son de grano fino a medio, de color amarillo verdoso algunas veces con tonalidades ladrillo por la presencia de granates. Se localizan en la zona de contacto entre los volcánicos Piuntza con el batolito de Zamora y pórfidos post-batolíticos del Jurásico superior. En el área del yacimiento el intrusivo, está representado por una monzo-diorita de textura porfirítica y un pórfido cuarzo feldespático

Figura 11. Geología del Distrito de Zamora



Fuente: Prodeinminca, 2000.

6.2.1.1. Evolución Geológica de la Cordillera del Condor.

La Cordillera del Cóndor abarca el distrito de Zamora, se caracteriza porque en ella afloran litologías pre-batolíticas y sin-batolíticas, como consecuencia de formaciones metamórficas de sentido NNE-SSW en su flanco Oeste; la Unidad Chigüinda de edad Paleozoica perteneciente al terreno Loja de la Cordillera Real, representada por cuarcitas, filitas negras, esquistos gráficas y pizarras; la cual limita hacia el Este con la Unidad Isimanchi, constituida de esquistos, filitas de bajo grado (entre 200-250 y 400-450°C), así como también de mármoles y meta-volcanitas, esta unidad se la correlaciona con la Formación Macuma, que forma parte del

basamento metamórfico del distrito, al igual que la Formación Pumbuiza (600 a 360 Ma). Además, se constituye por formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias de origen continental y marino de edad Triásica como la Unidad Piuntza (220 Ma), primera unidad litológica de edad Triásica conocida en el Ecuador (Litherland, et. al...,1994); y, el desarrollo de las Formaciones Isimanchi y Santiago de ambiente marino transicional considerada en una fase, volcánico de arco magmática tipo riff, durante el Triásico superior a Jurásico inferior (225 a 200 Ma); en el Jurásico medio se genera una discordancia de margen convergente por el cual se origina etapas de volcanismo y se instruye el Batolito de Zamora (220 a 144 Ma) que afecta a las mismas rocas (Díaz y otros, 2004) y posterior a etapas magmáticas más tardías del Batolito de Zamora (150 Ma); durante el Jurásico medio a Cretácico inferior se depositan vulcano-sedimentos que conforman el complejo Chapiza y al mismo tiempo se desarrolla el vulcanismo de la Unidad Misahuallí de transición Jurásica-Cretácica temprana. Toda esta secuencia de rocas pre-terciarias han sido instruidos desde el Cretácico Inferior a Superior (116 a 96 Ma) por stocks de granitoides tipo I y de pórfidos de alto nivel post-batolíticos de composición calco-alcalinos, como roca dioríticas a granodioritas de grano medio, instruidos cerca de la superficie asociados a rocas volcánicas, lo que ha generado un hidrotermalismo enriquecedor de minerales de interés económico relacionado a estructuras y a esfuerzos tectónicos regionales dinámicos y tensionales, originando depósitos porfídicos y epi-mesotermales descubiertos hasta la actualidad en el distrito; como los depósitos de cobre porfídico del cinturón San Juan Bosco, los skarn de Au y Cu del cinturón de Nambija, el depósito de Au y Ag de FDN, y los del campo minero de Pachicutza - Chinapintza (Prodeminca, 2000). Estratigrafía del distrito Zamora esta secuenciada de rocas pre-terciarias han sido instruidos desde el Cretácico Inferior a Superior (116 a 96 Ma) por stocks de granitoides tipo I y de pórfidos de alto nivel post-batolíticos de composición calco-alcalinos, como roca dioríticas a granodioritas de grano medio, instruidos cerca de la superficie asociados a rocas volcánicas, lo que ha generado un hidrotermalismo enriquecedor de minerales de interés económico relacionado a estructuras y a esfuerzos tectónicos regionales dinámicos y tensionales, originando depósitos porfídicos y epi-mesotermales descubiertos hasta la actualidad en el distrito; como los depósitos de cobre porfídico del cinturón San Juan Bosco, los skarn de Au y Cu del cinturón de Nambija, el depósito de Au y Ag de FDN, y los del campo minero de Pachicutza - Chinapintza (Prodeminca, 2000).

6.2.1.2. *Litoestratigrafía Regional*

La secuencia estratigráfica en el cinturón de Nambija tiene un espesor de unos cientos de metros y comprende estratos de grano fino y grueso interpretados como productos volcánico-clásticos y volcano sedimentarios pertenecientes a la Unidad Piuntza del Triásico (Litherland et al... y otros 1994). En el extremo Sur del cinturón de Nambija la Unidad Piuntza está parcialmente sobre la Unidad Isimanchi y se presenta como pizarras, filitas (localmente grafitosas) y esquistos metamórficos en facies de esquistos verdes superiores - anfibolitas inferiores (Prodeminca, 2000).

Unidad Piuntza: formada por una serie estratificadas de volcanosedimentos continentales y marinos: tobas, flujos de lava, brechas andesíticas y dacíticas; caliza, lutita calcárea, limolita y arenisca tobácea. Su contacto con el complejo Intrusivo de Zamora ha generado cuerpos metasomáticos de skarn aurífero localizados en las áreas mineras de Piuntza y Nambija; aflora de la quebrada Nambija y se amplía hasta la Sultana del cóndor y Guayzimi alto. En el contrafuerte de Nnaguipa aflora en sentido N-S como techo colgante del complejo Intrusivo de Zamora; yace sobre la Unidad Plan de Oso y bajo la Unidad la Saquea en contactos discordantes. Intercalaciones de toba, brecha volcánica y andesita porfirítica. Se encuentran desde tobas de lapillí hasta de cristales conlíticos; las brechas volcánicas son clasto-soportadas con fragmentos de toba, andesita y dacita con matriz vítria. Consiste de cuerpos metasomáticos discontinuos exoskarn con andradita grosularia y epidota ubicados en diferentes estratigráficos (Litherland et al... 1994).

Unidad la Saquea: son productos volcánicos calco-alcalinas relacionados con la Fm. Misahualli, forma parte del arco subandino jurásico. Consiste de andesitas basálticas intruídas por el Complejo Intrusivo de Zamora. En el contrafuerte de Nnaguipa las lavas están sobre los estratos superiores metasomatizados en la Unidad Piuntza. Las andesitas y andesitas basálticas lucen diaclasadas, silicificadas y epidotizadas, intercaladas puntualmente con brechas volcánicas y volcanes sedimentos (Romeuf et al1995).

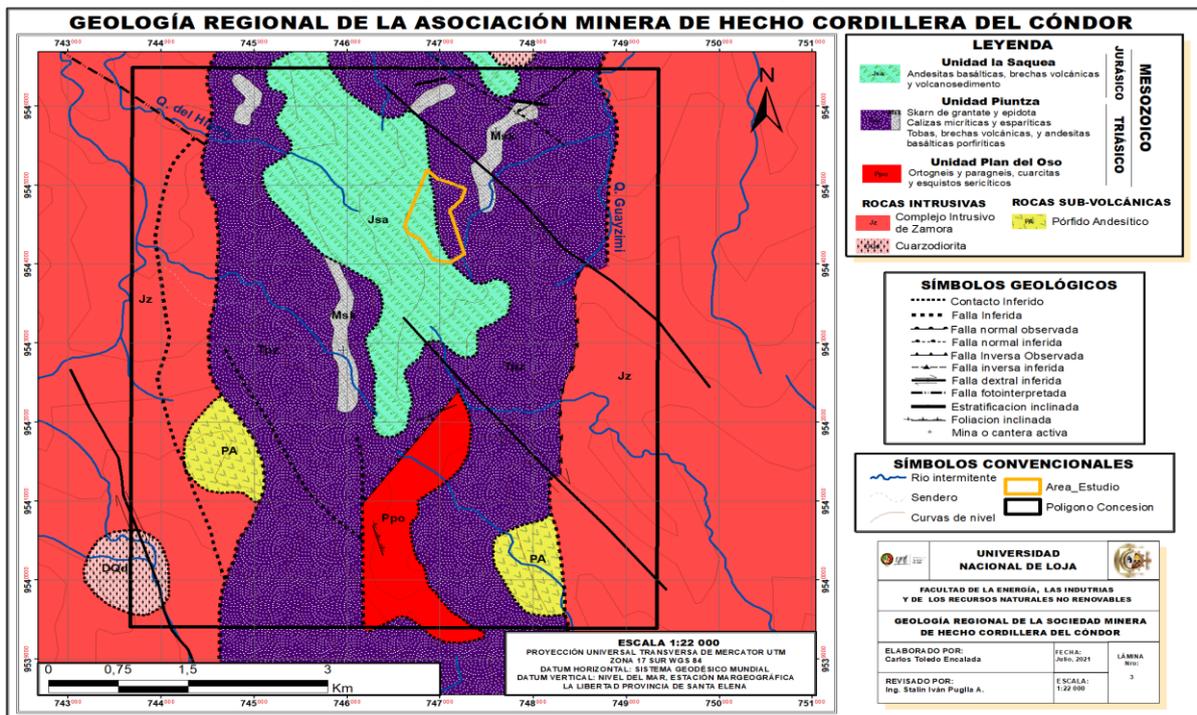
Complejo intrusivo de Zamora es un batolito tipo - I esencialmente no deformado ni metamorfozido, elongado (200 km de largo por 50 km de ancho) y segmentado en tres partes por las fallas la Canela y Nangaritzta con dirección N-S. Predominan granodioritas hornbléndicas, equigranulares de grano grueso a medio, de textura fanerítica. Este intrusivo se encuentra cubierto discordantemente por rocas sedimentarias del cretácico y está en contacto tectónico correo como metamórficas pertenecientes a la Unidad Sabanilla. La edad ha sido determinada entre 170 Ma y 190 Ma Jurásico Medio-Inferior (Litherland et al... 1994).

6.2.1.3. Estructuras regionales.

Las estructuras del Distrito de Zamora están dominadas por la falla / sutura regional de cabalgamiento Palanda y las fallas biseladas con tendencia N-S de La Canela y Nangaritza que dividen al batolito de Zamora en tres segmentos tectónicos definidos de Este a Oeste. El batolito de Zamora está limitado al Este por la falla El Cóndor de tendencia NNE-SSW en contacto tectónico con la formación Misahuallí (Prodeminca, 2000).

De acuerdo al mapa realizado por Prodeminca en el año 2000, se puede apreciar que el principal sistema estructural en la zona es fallas de dirección N-S las cuales limitan a manera de contacto a las litologías y ponen en evidencia las rocas volcánicas y vulcano-sedimentarias de la Unidad Piuntza (Triásico Medio a Tardío), con las rocas intrusivas del batolito de Zamora (Jurásico Temprano). Las estructuras principales en el Distrito de Zamora son: i) estructuras regionales con dirección andina (N-S y NNE - SSW) las cuales delimitan terrenos litotectónicos y además constituyen el principal control del magmatismo y la metalogénesis en la región; ii) fallas secundarias con dirección NE - SW a ENE - WSW que se relacionan con la mineralización; iii) fallas secundarias con lineamientos WNW los cuales son complementarios al sistema de fallas NE a ENE. La ocurrencia del graben en el cinturón de Nambija limitado por fallas con dirección N-S ha preservado a rocas de edad pre a sin - batolítica como techos colgantes que han sido parcialmente skarnificados (Prodeminca, 2000).

Figura 12. Geología regional de la concesión Nanguipa y del área de estudio



Elaborado por: El autor, 2022

6.2.2. Geología Local

En el área de interés afloran volcanosedimentos en la parte Nor-Oeste de la zona de estudio, constituidos por materiales heterogéneos. Seguidamente encontramos andesitas y brechas volcánicas de la edad Triásica, las litologías principales generalmente muy meteorizadas contienen feldespatos y plagioclasas. En la superficie se encuentra un suelo residual debido a la acción de agentes exógenos, por debajo de estas encontramos rocas frescas con diferentes litologías como Skarn, brechas, andesitas y tobas (Ver Anexo 4).

a) Tobas andesíticas

Este tipo de litología pertenece a la Formación Piunza, donde; la roca se encuentra excesivamente meteorizado y a su vez, fracturado en direcciones de Norte – Sur, presenta mineralización diseminada de pirita de la familia de sulfuros. En esta roca existe la presencia de vetillas de cuarzo meteorizado. En cuanto a la coloración de la roca, es oscura por la presencia de minerales ferromagnesianos. La textura es porfirítica hasta afanítica holocristalina; mineralógicamente se compone de fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una matriz de grano fino compuesta por plagioclasa y cuarzo. Se encuentra al Sur-Este del polígono de estudio, existiendo contacto con brechas volcánicas y andesitas.

Figura 13. Tobas andesíticas de grano fino meteorizados



b) Andesitas

Esta roca volcánica ígnea de composición intermedia, matriz afanítica, compuesta de plagioclasa y minerales como piroxeno, hornblenda, biotita y cuarzo. La plagioclasa es uno de los minerales grandes y con visibilidad a simple vista, en cambio, la matriz está compuesta de granos minerales finos.

La litología andesítica se encuentra en el Norte del polígono de estudio, cuya dirección es SE - NW, estructuralmente se encuentra altamente fracturado, y sus fracturas están rellenas de óxidos, las rocas de color gris claro, textura porfídica, a su vez, se pudo observar pirita diseminada en la matriz de la andesita. La presencia de granates y finas vetillas de cuarzo en forma de hilos en las fracturas tienen una dirección preferente de E -W.

Figura 14. Andesita afanítica fracturada con oxidación

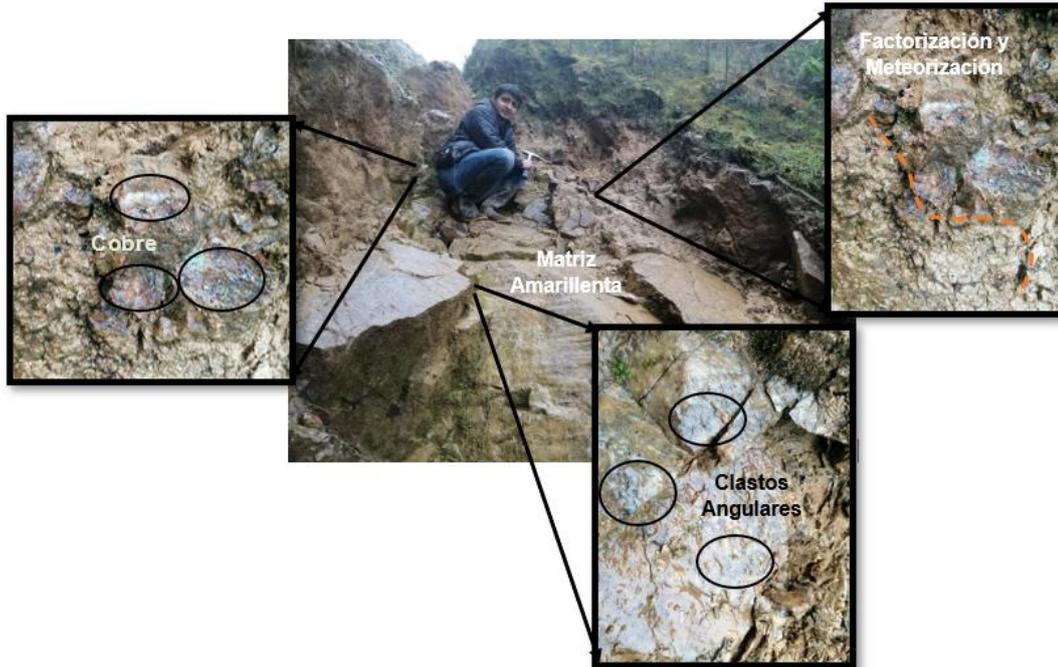


c) Brecha volcánica

La formación de las brechas volcánicas, se da por la deposición de fragmentos angulares de rocas y restos de minerales. Su composición está definida principalmente por la roca y el mineral a partir del cual se produjeron los fragmentos angulares. En este caso la brecha volcánica está constituida por derrubios de rocas volcánicas que han sido cementadas por la lava de las erupciones.

Este tipo peculiar de brecha volcánica está formada por la acumulación de depósitos piroclásticos en erupciones volcánicas, presenta una coloración clara, con una matriz amarillenta y clastos de grises, con un brillo opaco. Mineralógicamente está compuesta por feldespatos potásicos y cuarzo; se visualizó una textura clástica de grano grueso con una estructura de estratificación cruzada, con una alta redondez y esfericidad de los clastos y una sola composición en la matriz; el tamaño de los clastos es $> 3 \text{ mm}$ y de la matriz $< 2 \text{ mm}$.

Figura 15. Brecha Volcánica clástica de grano grueso con presencia de cobre

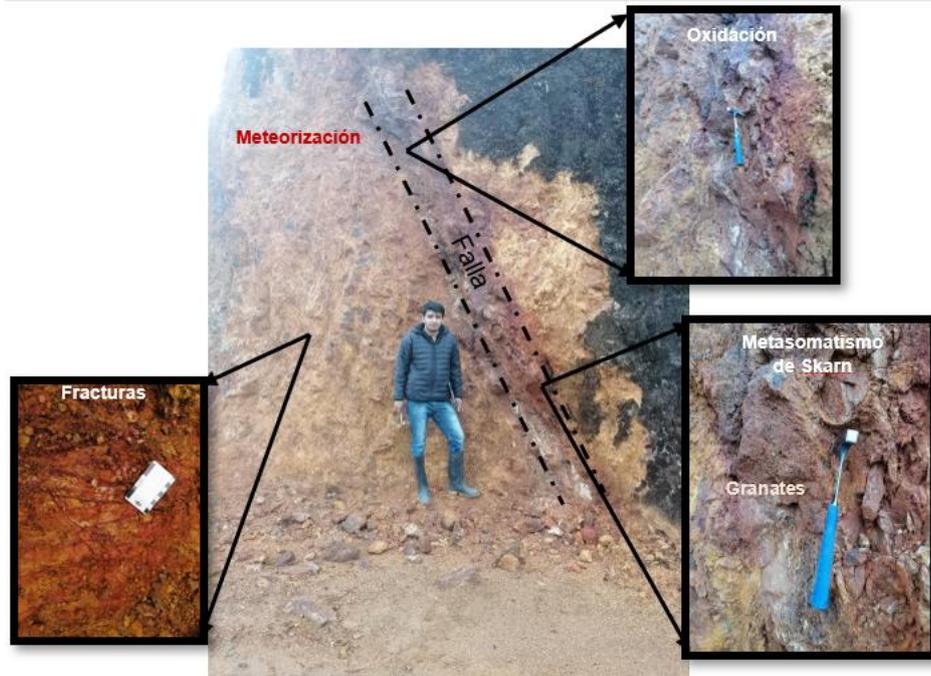


d) Skarn

Aflora principalmente al Suroeste del polígono, este tipo de roca ostenta una textura granular con colores rojizos claros, mineralógicamente se compone de piroxeno, epidota y granate. Estructuralmente se encuentra muy fracturado y meteorizado, con oxidaciones de color anaranjado.

En los skarn coexisten preponderancias localizados de epidota cerca al contacto con las andesitas, por otro lado, existen contacto y aproximaciones con las tobas andesíticas, por lo que se visualiza skarn de granate con oxidación por agentes exógenos. Entre los minerales principales son muscovita, biotita y feldespato potásico, en especial estos dos últimos. El feldespato potásico se presenta en diferentes ambientes, así bajo la forma de adularia se asocia a fuentes termales y depósitos epitermales. Regionalmente corresponde a la Unidad skarnificado de la Unidad Piunza.

Figura 16. Skarn de granate oxidado meteorizado



6.2.3. Estructuras

El área de estudio se encuentra afectada por incidentes tectónicos en los tiempos geológicos, que trajeron como consecuencia principalmente el fracturamiento de la roca y la formación de fallas reconocidas por las estrías que se forman en los planos de fallas, en donde, algunas de estas fallas han sido rellenadas con mineral enriquecidos, que son los responsables de mineralización.

En la zona de estudio se identificaron dos fallas. La primera falla posee una dirección de SE; con un azimut de 178° y un buzamiento de 45° NE; la segunda falla posee una dirección de 68° NE, con un buzamiento de 79° NW, estas fallas la componen los contactos entre las unidades litológicas del área entre las tobas andesitas y las brechas volcánicas, y, como secundarias una falla de dirección NE de 33° , buzamiento 45° SE. En la zona de estudio se pudo evidenciar procesos compresivos y a su vez, distensión del macizo debido a las fuerzas tensionales que en su momento generaron las fallas se ve claramente los planos de ruptura, estrías y arcilla producto de la fricción de las rocas, un alto grado de fracturas en la litología.

6.3. Variables de dependientes e independientes

El desarrollo del proyecto de investigación se han definido variables que influyen en el diseño. Para poder establecer parámetros técnicos se realizó la revisión de la Normativa Ecuatoriana NEC para la Construcción de Estructuras y la Guía para el Diseño y Construcción de Escombreras elaborado por la Junta de Andalucía (Donaire Márquez & López Jimeno,

2008). Por lo tanto, la investigación demanda identificar, categorizar y evaluar estas variables relacionadas al diseño.

6.3.1. Variables independientes

- Estudio de la climatología; necesario para conocer la intensidad de precipitaciones en la zona de estudio y su diseño de drenaje.
- Topografía; será de vital importancia para la ubicación y diseño de la escombrera e identificar la pendiente donde se realizó un análisis para la ubicación de la escombrera.
- Hidrología; para identificar la red hídrica que tiene el lugar de emplazamiento y su influencia.
- Geología de la zona de estudio: relevante para la ubicación y estabilidad de la escombrera.
- Condiciones sísmicas; importante para el análisis de estabilidad de la escombrera.

6.3.2. Variables dependientes

- Capacidad de almacenamiento de la escombrera.
- Distancia de recorrido desde la zona de stock hasta la escombrera.
- Método constructivo para la estabilidad de dicha escombrera.

6.4. Emplazamiento y ubicación de la escombrera

El emplazamiento de la escombrera se la ubicó sobre un terreno con pendiente media o moderada, a fin de que se construyan sobre un cimiento firme, estable y poco deformable. Debe evitarse que dentro de la zona de influencia de la escombrera se encuentren viviendas, núcleos urbanos o instalaciones, así como vías de comunicación o redes de servicios. Por ende, la zona de influencia el área no afecte por: caídas de escombros, deslizamientos globales o parciales y flujos de detritus.

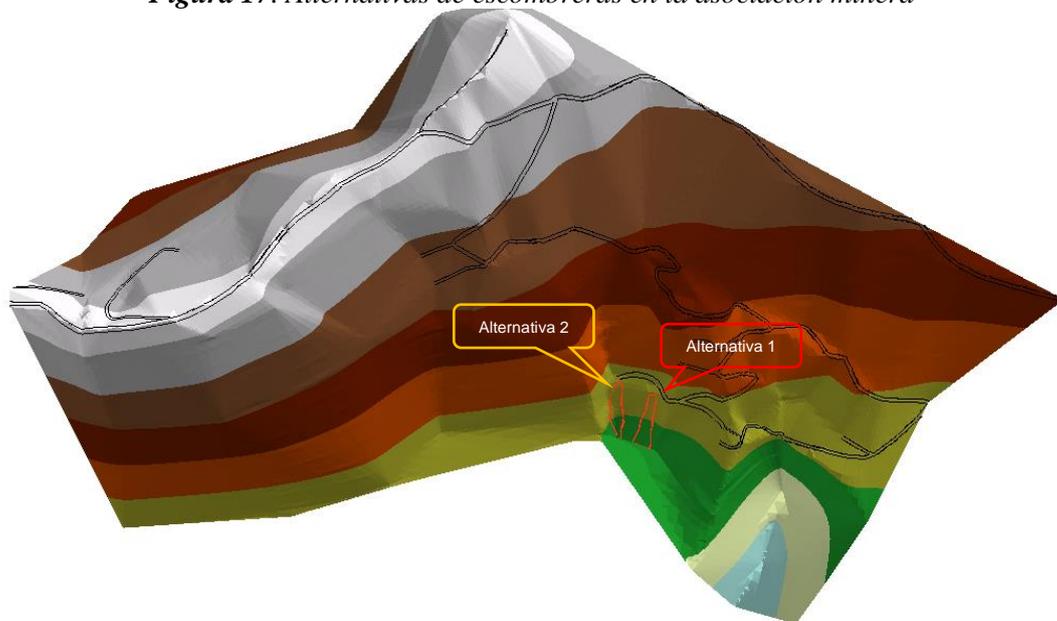
6.4.1. Metodología para la elección del emplazamiento

En la elección del emplazamiento de una escombrera deben considerar criterios de diversa naturaleza: técnicos, económicos, ambientales y socioeconómicos. Como resultado de las restricciones medioambientales y económicas que influyen en el proceso de tratamiento de los residuos mineros, es evidente que se hace necesario llevar a cabo una evaluación exhaustiva y así se estableció dos alternativas de emplazamiento de la escombrera.

Estas dos alternativas presentan facilidades referentes a la bocamina y el frente de explotación con dirección SW. Para considerar las alternativas para el emplazamiento y

ubicación de la escombrera de material estéril se basó en un reconocimiento del área de estudio considerando las opciones como: morfología del terreno, conformación de arroyos o quebradas, características topográficas, existencia de materiales de caída, fracturas, escorrentía de las aguas superficiales, capacidad de almacenamiento y distancia a zona mineralizada (Figura 17).

Figura 17. Alternativas de escombreras en la asociación minera



Elaborado por: El autor, 2022

De esta manera, las alternativas de emplazamiento de escombreras están ubicadas sobre un con pendiente de media a fuerte y dentro de su zona de influencia no se encuentra viviendas, núcleos urbanos, instalaciones industriales, zonas con surgencias de aguas, zonas inundables, ni redes de servicio.

Tabla 8. Coste de transporte de estériles a la alternativa 1

Datos	Valores	Unidad
Distancia	0.234	Km
Galones de combustible	1	gal/h
Costo de operador	3.57	\$/h
Precio Combustible	2.40	\$/gal
Costo Total	1.63	\$

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 9. Coste de transporte de estériles a la alternativa 2

Datos	Valores	Unidad
Distancia	0.482	Km
Galones de combustible	1	gal/h
Costo de operador	3.57	\$/h
Precio Combustible	2.40	\$/gal
Costo Total	2.87	\$

Elaborado por: El autor, 2022

6.4.1.1. Método del Índice de Calidad.

Consiste en evaluar la capacidad portante del terreno en función de la profundidad del nivel freático para cada una de las áreas a investigarse. El método propuesto pasa por determinar el llamado índice de calidad del emplazamiento, “ Q_e ”, mediante la siguiente expresión:

$$Q_e = \alpha * (\beta * \theta)^{(\delta+n)}$$

a) Factor α de alteración de la capacidad portante del terreno debido al nivel freático.

De acuerdo al análisis de campo que se realizó en la zona no contiene nivel freático en las áreas de emplazamiento de la escombrera para estériles.

Tabla 10. Factor α de alteración de la capacidad portante del terreno debido al nivel freático

Valor	Profundidad
$\alpha = 1$	Sin nivel freático o con nivel a profundidad superior a 5 m.
$\alpha = 0.7$	Con nivel freático entre 1,5 y 5 m.
$\alpha = 0.5$	Con nivel freático a menor profundidad de 0,5 m
$\alpha = 0.3$	Con agua socavando menos del 50 % del perímetro de la estructura.
$\alpha = 0.1$	Con agua socavando más del 50 % del perímetro de la estructura.

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

b) Factor de resistencia de la cimentación, β .

Este factor va a depender de la naturaleza del cimientado y de la potencia de la capa superior del terreno de apoyo. El tipo de suelo que caracteriza el área de estudio sobre las operaciones mineras de la asociación minera, consiste en una capa de suelo tipo coluvial granular afectado por meteorización y erosión con una potencia estimada de 0.50 a 0.70 m sobre las dos áreas de emplazamiento; por tanto, se asigna un valor de 0,95.

Tabla 11. Factor de resistencia de la cimentación, β

TIPO DE SUELO	POTENCIA				
	< 0,5 m	0,5 a 1,5 m	1,5 a 3,0 m	3,0 m a 8,0 m	> 8 m
Coluvial granular	1	0.95	0.9	0.85	0.8
Coluvial de transición	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75
Coluvial limo-arcilloso	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
Aluvial compacto	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
Aluvial flojo	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

c) Factor topográfico o de pendiente, θ .

Para la determinación del factor de pendiente θ que está en función que si la implantación se efectuará en terraplén o en ladera. Para la determinación de los valores de la pendiente del área de estudio sobre las operaciones mineras de la Asociación minera de Hecho Cordillera del Cóndor, con la aplicación del software ARCGIS se realizó el modelo digital del terreno definiendo una topografía con una pendiente > 26 %; por tanto, se ha consignado a θ un valor de 0.7 y 0.4 de las áreas de elección para el emplazamiento de la escombrera de estériles.

Tabla 12. Factor topográfico o de pendiente, θ

TOPOGRAFÍA DE IMPLANTACIÓN		VALOR
TERRAPLEN	Inclinación < 1 °	1
	Inclinación entre 1 ° y 5 ° (< 8 %)	0.95
	Inclinación entre 5 ° y 14 ° (de 8 % a 25 %)	0.9
LADERA	Inclinación entre 14 ° y 26 ° (de 25 % a 50 %)	0.7
	Inclinación > 26 ° (> 50 %)	0.4
	Perfil en V cerrada (inclinación de laderas > 20 °)	0.8
	Perfil en V abierta (inclinación de laderas < 20 °)	0.60 - 0.70

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

d) El factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η .

En este parámetro se considera el riesgo de ruina de distintos elementos si se produjera la destrucción de la escombrera. Para el análisis del factor relativo al entorno humano y material afectado, se realizó un recorrido de campo, donde se observó que no se tiene asentamientos humanos, por tanto, el área de emplazamiento de las escombreras no afectaría a ningún tipo de entorno.

Tabla 13. Factor relativo al entorno humano y material a ser afectados, η

ENTORNO AFECTADO	VALOR
Deshabitado	1
Edificios aislados	1.1
Explotaciones mineras poco importantes	1.1
Servicios	1.2
Explotaciones mineras importantes	1.3
Instalaciones industriales	1.3
Cauces intermitentes	1.2-1.4
Carreteras de 1 ° y 2 ° orden, vías de comunicación	1.6
Cauces fluviales permanentes	1.7
Poblaciones	2

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

e) Factor de alteración de la red de drenaje, δ :

Tabla 14 Factor de alteración de la red de drenaje, δ .

ALTERACIÓN DE RED DE DREANJE	VALOR
Nula	0
Ligera	0.2
Modificación parcial de la escorrentía de una zona	0.03
Ocupación de un cauce intermitente	0.4
Ocupación de una vaguada con drenaje	0.5
Ocupación de una vaguada sin drenaje	0.6
Ocupación de un cauce permanente con erosión activa menor del 50 % del perímetro de la estructura	0.8
Ocupación de un cauce permanente con erosión activa mayor del 50 % del perímetro de la estructura	0.9

Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

Con las respectivas calificaciones que se obtuvieron de los diferentes factores de acuerdo a cada uno de los sitios para realizar el análisis se procedió a realizar el cálculo correspondiente aplicando la fórmula propuesta Ayala Rodríguez (1986) para el índice de calidad Q_e :

Tabla 15. Clasificación de los emplazamientos según valor de Q_e

Alternativa	α	β	θ	η	δ	Q_e	Emplazamiento
Escombrera 1	1	0.95	0.7	1	0	0.63	Adecuado para estructuras
Escombrera 2	1	0.95	0.4	1	0.2	0.31	Tolerable

Elaborado por: El autor, 2022

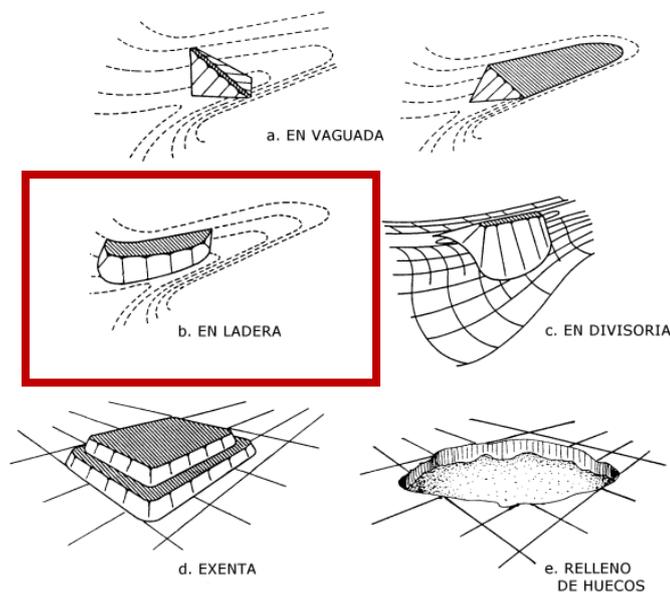
Siguiendo la metodología para la elección del emplazamiento de la escombrera destinadas a las operaciones mineras de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor en el área de concesión Nanguipa código 501410, que el área la “Escombrera 1” es el emplazamiento adecuado para los materiales estériles.

6.4.2. Lugar de emplazamiento

Una vez definida la alternativa para el emplazamiento de la escombrera, considerando el efecto el índice de calidad del macizo, la topografía y el relieve del área. La construcción de la escombrera se implanto sobre un terreno de pendiente que fluctúa entre el 25 % - 40% (pendiente media a fuerte), sin que ello afecte al dren natural principal.

En función del lugar de emplazamiento y de su configuración, la escombrera se la clasificó sobre Ladera, en razón de las características morfológicas, estructurales y competencias del macizo que presenta el área.

Figura 18. Elección del lugar del emplazamiento de la escombrera minera



Fuente: (Donaire Márquez & López Jimeno, 2008)

6.4.3. Estudio del emplazamiento

En la selección del emplazamiento de la escombrera, se realizó el reconocimiento *in-situ* para determinar los sitios de ensayos que nos permitirán conocer las características geomecánicas de los materiales que forman la base del del área de emplazamiento y descartar la posible presencia de mineral explotable en el subsuelo. Es por esto que se realiza un levantamiento del terreno para identificar topografía, geología, cobertura vegetal, surgencias de agua, áreas de baja permeabilidad y discontinuidades estructurales.

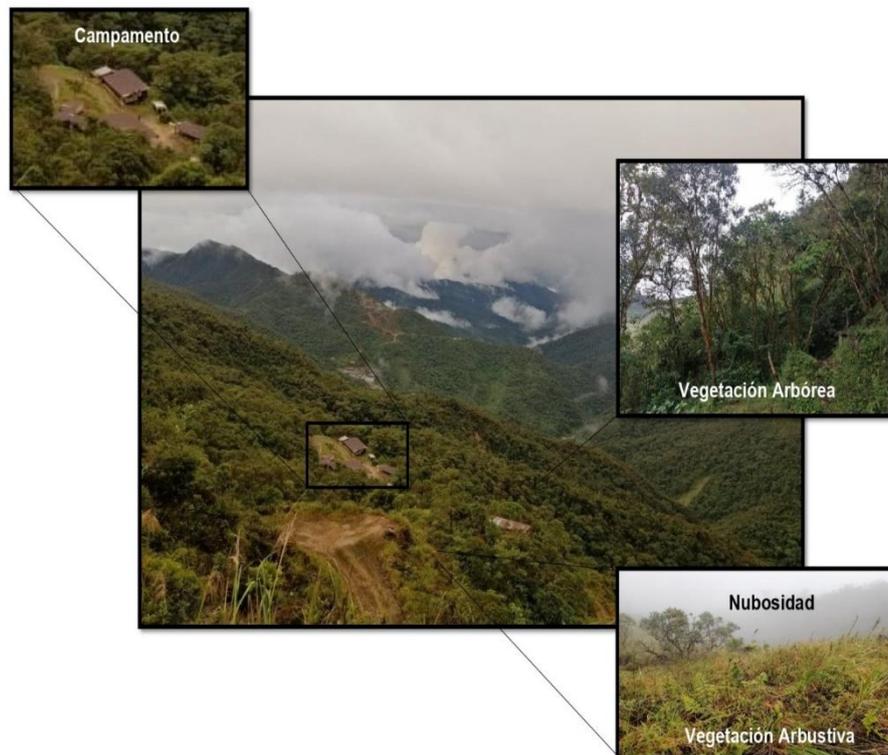
6.4.3.1. Clima

El clima sobre el área de estudio, es lluvioso temperado con temperaturas que oscilan entre 10 °C y 20 °C. La temperatura del área de estudio varía a la época de precipitación y al mes. En la zona la humedad es muy fuerte llegando hasta un 85 % con rangos de nubosidad. En los

meses de Julio y agosto, la zona es mayormente azotada por vientos que fluyen en dirección SW-NE (GAD de Nangaritza, 2015).

En los meses de Julio y agosto, la zona es mayormente azotada por vientos que fluyen en dirección SW-NE. El fuerte relieve que predomina en la zona conjuntamente con el sustrato rocoso ha dado lugar a que los suelos presenten un pobre desarrollo orgánico. El paisaje está dominado por una vegetación andina entre relieves montañosos fuertes.

Figura 19. *Clima y vegetación de la asociación minera*



Fuente: *El Autor, 2022*

6.4.3.2. Vegetación.

La Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor es parte de la región andina y se caracteriza por bosques húmedos por la altitud. Las fuertes ondulaciones que dominan la zona, junto con la matriz rocosa, conducen a un pobre crecimiento orgánico del suelo.

El ecosistema en la asociación es un Bosque Montañoso Alto, o también bosque montano, es el bosque que se encuentra bajo la influencia del clima de montaña debido a su altitud. Esta es la formación andina típica, tanto estructural como florísticamente y una constante condensación de niebla. Este hábitat intervenido fuertemente por la infraestructura, transporte, explotación del material metálico y asentamiento antrópicos; ha provocado una alteración primaria de la vegetación a secundaria. La vegetación que será removida en el emplazamiento de la escombrera, son descritas en la siguiente tabla:

Tabla 16. Vegetación a remover en el emplazamiento de la escombrera.

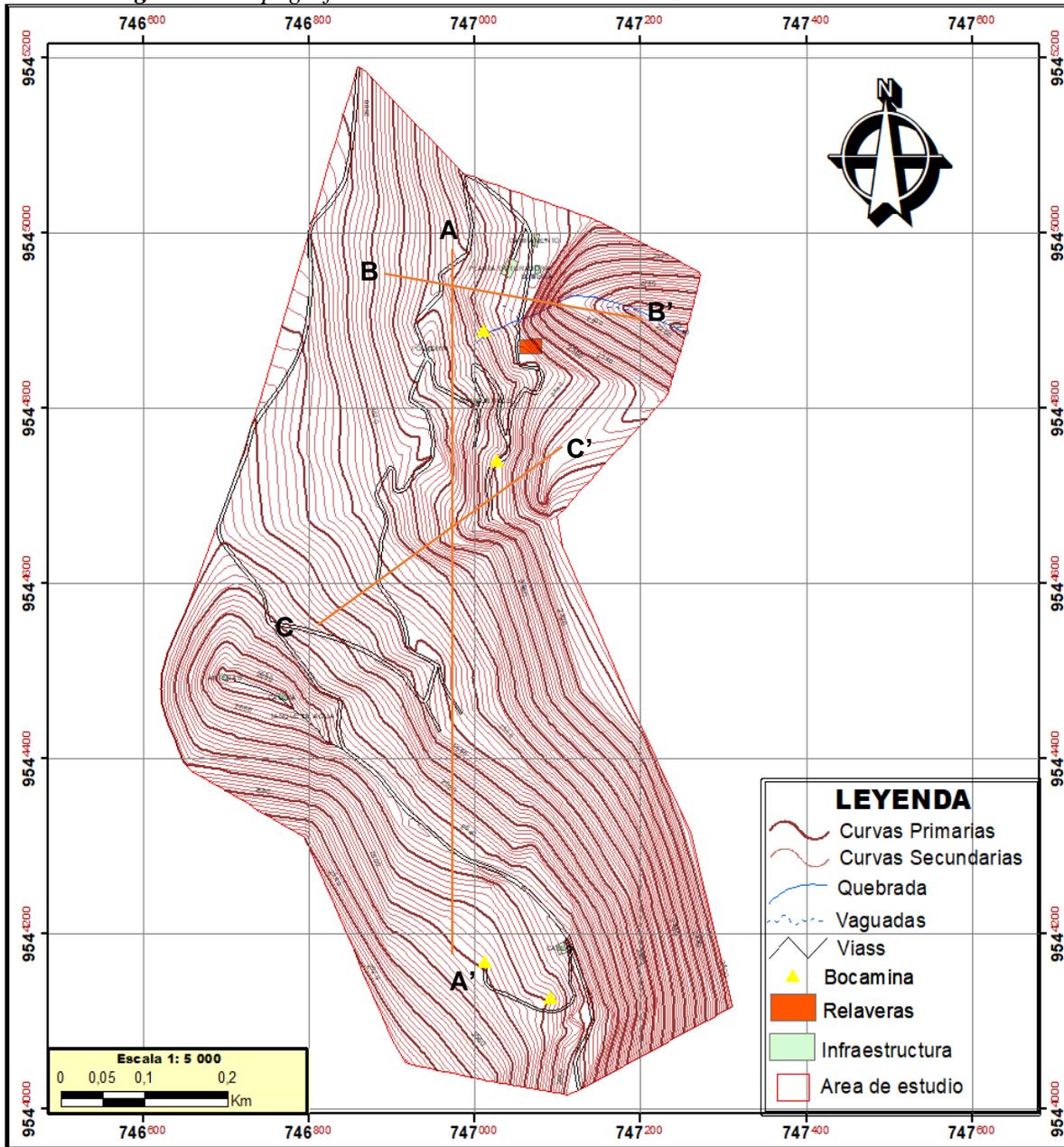
Nombre Científico	Nombre Común
<i>Morella pubescens</i>	Laurel de cera
<i>Morella sp.</i>	Laurel
<i>Symplocos quitensis</i>	Higo de pava
<i>Hedyosmum sp.</i>	Borracho
<i>Schefflera acuminata</i>	Cheflera
<i>Schefflera ferruginea</i>	Cheflera
<i>Oreapanax sp.</i>	Pumamaqui
<i>Persea sp.</i>	
<i>Weinmannia glabra</i>	Cashco
<i>Cecropia telenitida</i>	Guarumo
<i>Cyathea caracasana</i>	Llashín
<i>Chusquea scandens</i>	Chilca

Elaborado por: El autor, 2022

6.4.3.3. Topografía.

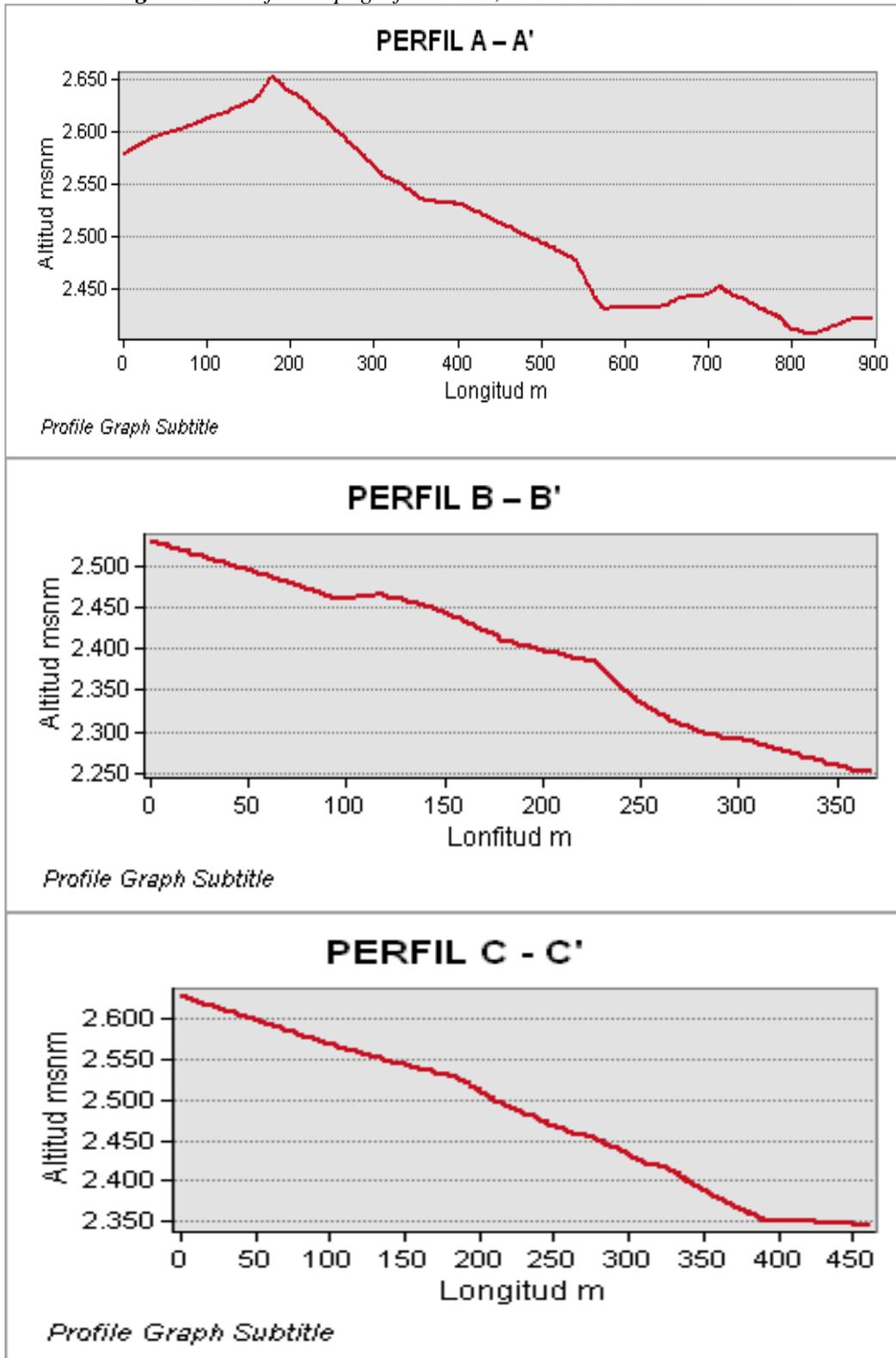
El área de estudio está representada por una zona montañosa con relieve irregular escarpado, con pendientes pronunciadas y de difícil acceso, con altitudes entre 2232 hasta 2688, con pendientes que varía de 12 % a 70%, es decir pendientes Medias, Medias a Fuertes y Fuertes, ya que el área de estudio entre más metros asciende, va existiendo un cambio de pendiente de suave a media y de media a fuerte respectivamente. Mediante la observación de campo y así misma revisión bibliográfica se observó el piso climático como; laderas, y cordilleras; ya que estos pisos son el resultado de una compleja orografía perfilada a los intermitentes de agua y de viento, con distintas intensidades y direcciones.

Figura 20. Topografía de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor



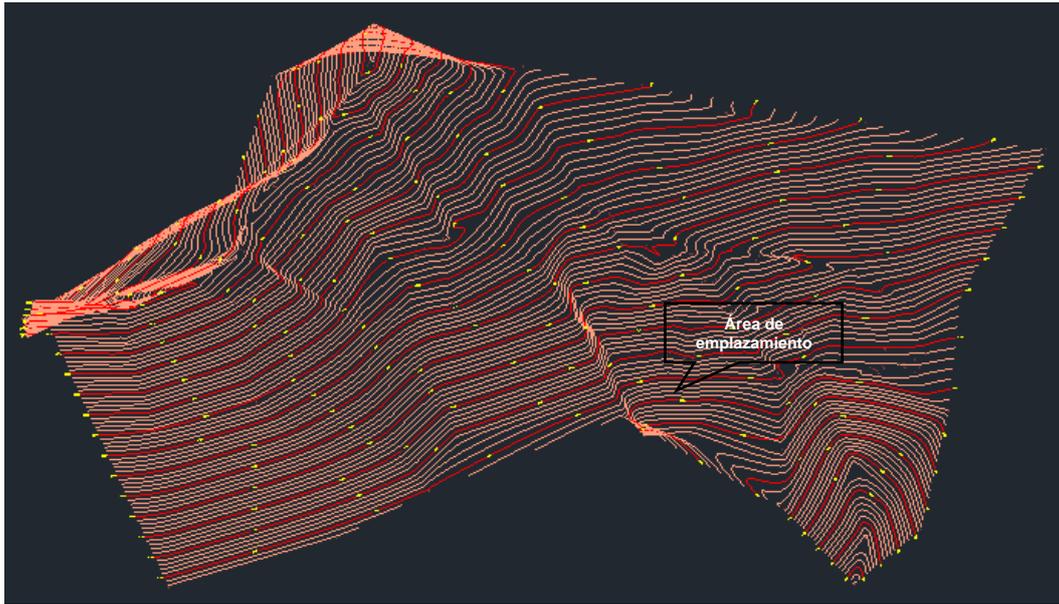
Elaborado por: El autor, 2022

Figura 21. Perfiles topográficos A-A', B-B' Y C-C' área de estudio.



Elaborado por: El autor, 2022

Figura 22. Proyección topográfica en 3D E–W de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.



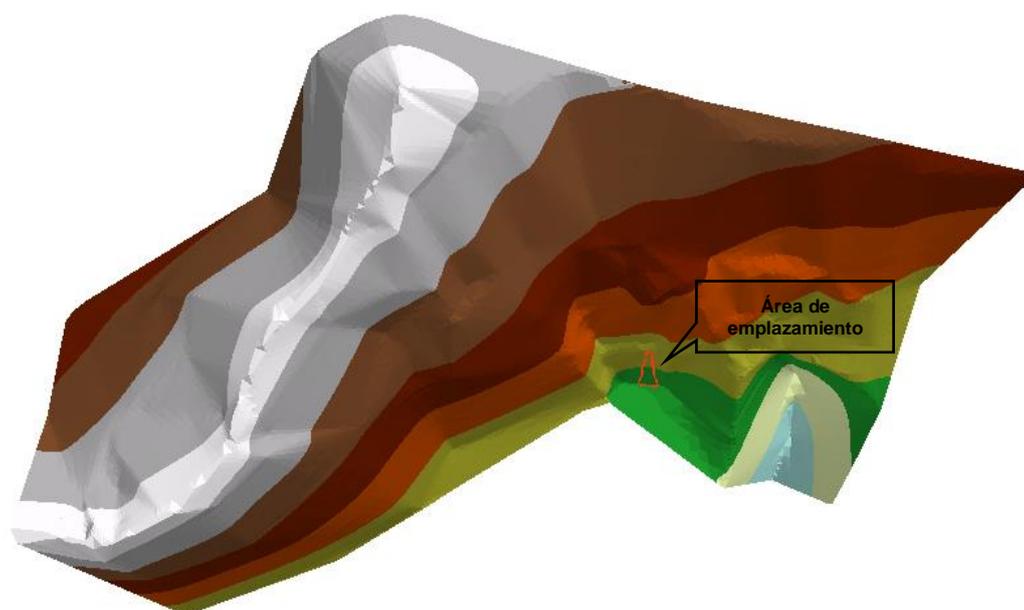
Elaborado por: El autor, 2022

Figura 23. Proyección topográfica en 3D N–S de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor.



Elaborado por: El autor, 2022

Figura 24. Vista superior DEM en 3D de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Cónдор.



Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 17. Clasificación del tipo de pendiente

Simbología	Porcentaje (%)	Tipo de Pendiente	Descripción
	0 a 2%	Plana	Relieves completamente planos.
	2 a 5%	Muy suave	Relieves casi planos.
	5 a 12%	Suave	Relieves ligeramente ondulados.
	12 a 25%	Media	Relieves medianamente ondulados.
	25 a 40%	Media a Fuerte	Relieves mediana a fuertemente disectados.
	40 a 70%	Fuerte	Relieves fuertemente disectados.
	70 a 100%	Muy Fuerte	Relieves muy fuertemente disectados.
	> a 100%	Escarpada	Relieves escarpados, es decir con pendiente de 45 grados.

Fuente: (CLIRSEN – MAGAP (SIGAGR), 2011)

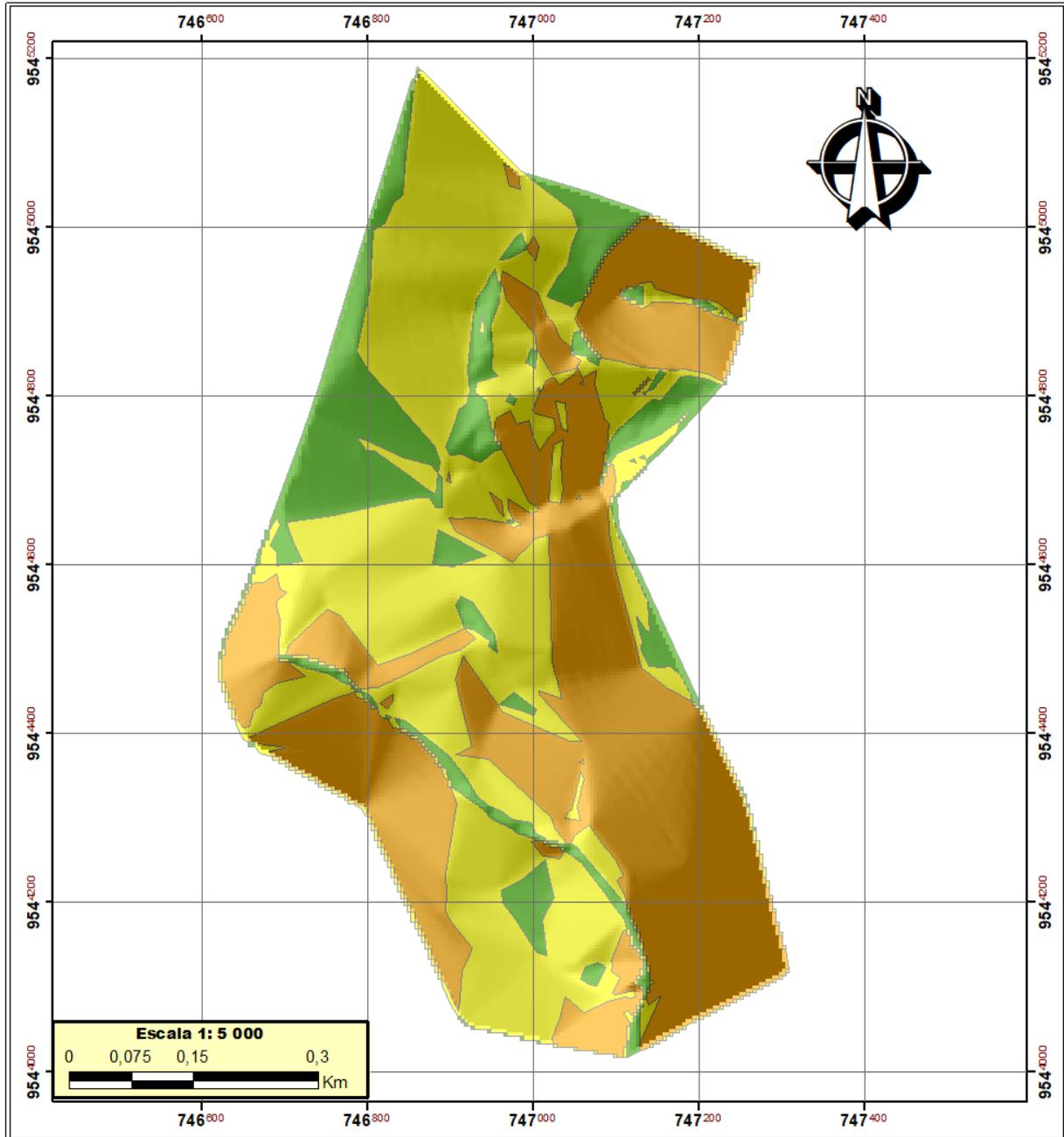
La topografía para el emplazamiento de la escombrera de estériles, se definió con una pendiente Media a Fuerte de rangos que consignan de 25 – 40%. En base a las características que más fluyen sobre su geomorfología se determinó los siguientes subcomponentes sobre el relieve y pendientes:

Tabla 18. Rangos de pendientes

Clase	Rango de Pendiente	Área (m ²)	Porcentaje
Media	12-25%	70688,023	15 %
Media a Fuerte	25-40%	205382,677	43 %
Fuerte	40-70%	203989,470	42 %

Elaborado por: El autor, 2022

Figura 25. Pendiente de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor

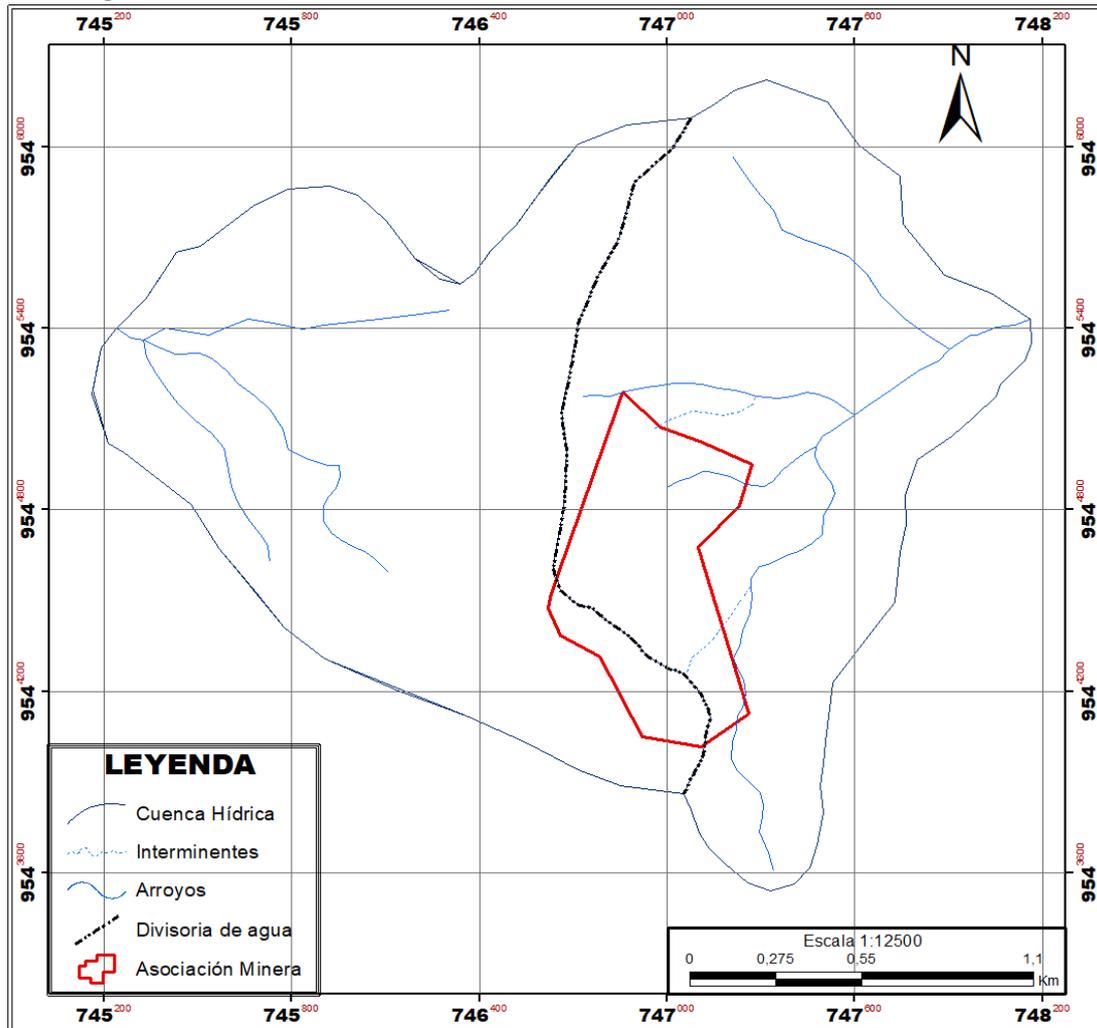


Elaborado por: El autor, 2022

6.4.3.4. Red hídrica.

La red hídrica de la zona pertenece a la cuenca del Río Nangaritzza siendo su principal afluente la Quebrada Guayzimi que nace de la Cordillera del Condor. Tanto el relieve como la red hidrográfica han generado varias afluentes que alimentan la quebrada y valles estrechos profundos en “v”. La red hidrográfica de la en el área está influenciada por la quebrada Guayzimi con caudales permanente por el tipo de vegetación y clima lluvioso temperado. De otro lado, previa visualización *in situ* de la zona donde se implantará la escombrera se ausculta la presencia de tributarios intermitentes secundarias a la red principal.

Figura 26. Red Hídrica de la Asociación Minera de Hecho Cordillera de Córdor



Elaborado por: El autor, 2022

6.4.3.5. Hidrogeología.

La presencia de agua afecta significativamente la estabilidad de una ladera produciendo los siguientes desordenes:

- Reducción de resistencia cortante del terreno al disminuir la tensión efectiva
- Aumento de la presión sobre grietas de tracción con el correspondiente incremento de las fuerzas desestabilizantes
- Incremento del peso del terreno por saturación
- Erosión interna por flujo subterráneo
- Meteorización y cambios en la composición mineralógica del material
- Apertura de discontinuidades por agua congelada.

a) Recopilación de información

La técnica a seguir contempla la recopilación de información de estudios, reportes, entre otros; lo que permite realizar el análisis de las interrelaciones entre el componente geológico e

hidrodinámica existente. Bajo este contexto se buscará la interacción de estos elementos como respuesta e interacción de los parámetros hidrogeológicos. Para cuyo efecto se trabajó con la información pública que genera el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) como investigación fidedigna, seleccionada, ordenada, y evaluada para disponer de datos confiables.

b) Análisis hidrogeológico

Con el fin de analizar la influencia de las aguas en el emplazamiento de la escombrera se procedió hacer una caracterización hidrogeológica. Sin embargo, tal y como se desprende del análisis del macizo rocoso del área de emplazamiento de la escombrera, el material que constituye está formado por rocas ígneas muy compactas de muy reducida permeabilidad, siendo usualmente de textura fina, no porosa y no se consideran como capas acuíferas por lo que se minimiza la posible infiltración y su posible percolación a posiciones más profundas; sin embargo, en ocasiones, a causa de un tectonismo han sufrido fracturamiento o diaclasamiento, que les ha permitido adquirir una porosidad secundaria por donde circula el agua.

Del análisis y evaluación de la información del sitio de emplazamiento de la escombrera y observación *in-situ*, se determina la no existencia de arroyos ni quebradas. El conocimiento del comportamiento hidrodinámico no sólo de la escombrera sino también del macizo sobre el emplazamiento de dicha escombrera es fundamental para poder determinar la influencia de las aguas, siendo necesario determinar la inexistencia de unidades hidrogeológicas y de un cauce fluvial permanente. El más cercano se sitúa a una distancia aproximada de 240 m aproximadamente. La diferencia de cota entre el cauce, el frente de explotación y el emplazamiento de la escombrera imposibilita que esta se vea influenciada por la dinámica fluvial. Referido a otros cursos de agua cercanos no permanentes, cabe señalar que los escurrimientos superficiales son mínimos, que discurre en una dirección Sureste. El arroyo alimentado por vaguadas no se ha modificado por la acción de la explotación, y mucho menos el curso ni dinámica por la situación de la escombrera.

c) Registro climatológico

La data de datos meteorológicos de evaluación corresponde a la Estación San Francisco – San Ramón (periodo de precipitaciones (2005 - 2016), por ser la más cercana al emplazamiento. El área de emplazamiento de la escombrera se circunscribe en el área de cobertura de la estación, teniendo condiciones geográficas semejantes al área de estudio.

Como parte de estos estudios deberán recogerse datos históricos sobre la climatología de la zona o disponer de medios técnicos y verídicos para la toma de los mismos. Aunque los datos de precipitaciones no son muy representativos y actuales, son los disponibles.

Tabla 19. Registros meteorológicos de la estación San Francisco-San Ramón modificado

Estación:		San Francisco – San Ramón			
Periodo:		2005 - 2016			
Latitud:	745839	Longitud:	9540637	Altura:	1620
Año	Precipitación media Anual (mm)	Precipitación máx en 24 h (mm)	T media anual °C	T media máx °C	T media mín °C
2005	2341.2	128.6	17.0	15.7	8.1
2006	2253.8	114.2	18.9	19.8	9.1
2007	2409.8	95.2	15.7	18.7	13.2
2008	2615.2	78.9	17.8	15.6	9.6
2009	2405.5	127.5	16.5	17.7	8.8
2010	2353.1	90.2	17.2	16.9	10.4
2011	2398.4	126.6	18.5	18.0	10.0
2012	2228.6	139.4	18.4	16.8	9.5
2013	2184.5	110.5	17.8	17.1	9.1
2014	2180.8	123.8	17.1	16.8	8.8
2015	2210.2	128.2	18.2	16.2	9.5
2016	2185.3	131.5	17.5	16.3	9.3

Fuente: INAMHI

6.4.3.6. Geología.

El área emplazamiento lo circunscribe rocas ígneas, andesítica volcánica por excelencia, de tipo basáltica de coloración gris oscura, de textura afanítica formando una estructura maciza de la Formación Piunza, de resistencia muy dura, cuya paragénesis mineral es: olivinos + plagioclasa + piroxeno + hornblenda + biotita + cuarzo. La andesítica basáltica estructuralmente posee un grado de alteración bajo, ya que los factores ambientales que generan procesos físicos y químicos no han afectado a la roca en general, por lo que las alteraciones no modifican las características y propiedades de la roca como la porosidad, permeabilidad, deformabilidad y resistencia del material rocoso.

6.4.3.7. Caracterización geomecánica del emplazamiento

Las clasificaciones geomecánicas se basan en distintos parámetros que determinan su comportamiento mecánico. La clasificación RMR, desarrollada por Bieniawski en 1973, relaciona índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, toma en cuenta parámetros como la resistencia uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturación en términos del RQD,

espaciado de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, condiciones hidrogeológicas y orientación de las discontinuidades.

Las propiedades mecánicas de las rocas determinan la vida útil de la roca y la capacidad para resistir fuerzas aplicadas sobre el mismo, estas propiedades mecánicas también están relacionadas y dependen en gran medida de las características petrográficas como su composición mineralógica, textura, estructura, tamaño y morfología; del contenido de poros, de su forma y de la naturaleza o el tipo de fluidos que se encuentran relleno de estos poros. En la fase de investigación de campo se efectuó un reconocimiento *in-situ* para determinar orientación, aberturas, relleno espaciado y la rugosidad del cimientado; así como el grado de meteorización en el emplazamiento del depósito y la influencia sobre el macizo rocoso. La estabilidad de la escombrera se justificó mediante un estudio geotécnico y estructural.

▪ **Resistencia a la compresión simple de la muestra**

La resistencia a la compresión simple o uniaxial de una roca (RCS) es un parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso (Anexo 2. Protocolo de Resistencia de Compresión No Confinada de Especímenes de Roca Intacto). Con el ensayo de RCS se obtendrá resultados de resistencia del macizo de emplazamiento de la escombrera proyectada, para así, garantizar la competencia y tenacidad de la escombrera ante cargas de material estéril. Los resultados son los siguientes:

Tabla 20. Resultados del ensayo de compresión simple

Muestra			Profundidad	Diámetro	Altura	Carga	RCS	RCS
X	Y	Z	(m)	(cm)	(Cm)	(KN)	(Kg/cm ²)	(MPa)
M - 1			0.20	6.2	12.40	400.00	1307.04	128.04
747043	9544730	2396						
M - 2			0.20	6	12	366.00	1200.16	117.53
747063	9544725	2383						

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 21. Clasificación de la roca en base a la resistencia a la compresión según la ISRM

Descripción	Resistencia a la Compresión (MPa)
Extremadamente blanda	< 1
Muy blanda	1 - 5
Blanda	5 - 25
Moderadamente blanda	25 - 50
Dura	50 - 100
Muy dura	100 - 250
Extremadamente dura	250

Fuente: (Feijoo Calle & Padrón Suarez, 2020)

- **RQD**

Para el cálculo del RQD cuantificamos el número de discontinuidades que existen en un metro de longitud (J_v), y aplicaremos la siguiente fórmula:

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

Para el primer afloramiento en el área de emplazamiento de la escombrera, se tiene como promedio de 10 discontinuidades por metro, para lo cual se tiene:

Figura 27. Afloramiento en el lugar de emplazamiento inferior



$$\begin{aligned} RQD &= 110 - 2.5J_v \\ RQD &= 110 - 2.5(10) \\ RQD &= 85 \% \end{aligned}$$

Para el segundo afloramiento en el área de emplazamiento de la escombrera, se tiene como promedio de 14 discontinuidades por metro, para lo cual se tiene:

Figura 28. Afloramiento en el lugar de emplazamiento superior



$$RQD = 110 - 2.5 Jv$$

$$RQD = 110 - 2.5(14)$$

$$RQD = 75 \%$$

- **Condición de discontinuidades**

Las tablas 22 y 23 resumen las condiciones de las discontinuidades en contradas en el área de emplazamiento de la escombrera de estériles.

Tabla 22. Condición de discontinuidades del A1.

Familia A1	
Rumbo/Buzamiento	S70°E/52°
Longitud	1 – 3 m
Espaciamiento	0.06 – 2 m
Abertura	1 – 5 mm
Rugosidad	Ligeramente Rugosa
Meteorización	Ligeramente Alterada
Relleno	Ninguno
Agua	Nula

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 23. Condición de discontinuidades del A2

Familia A2	
Rumbo/Buzamiento	S27°E/38°
Longitud	1 – 3 m
Espaciamiento	> 5 m
Abertura	1 – 5 mm
Rugosidad	Ligeramente Rugosa
Meteorización	Moderada
Relleno	Relleno balando, >5 mm
Agua	Nula

Elaborado por: El autor, 2022

Los datos son procesados en el software Excel, con sus respectivas fórmulas. Cada parámetro es calificado y se obtiene el valor RMR básico, estableciendo la clase y la calidad del cimientto.

Tabla 24. Cálculo geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) del A1

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	250-100	12
2 Índice RQD de la roca		
RQD (%)	75-90	17
3 Separación entre diaclasas		
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2	8
4 Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
Abertura (mm)	1-5	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5 Agua freática		
Caudal por 10 m de tunel	No aplica	0
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15
Estado general	Ligeramente húmedo	10
Corrección por discontinuidades		
	Clasificación	Puntuación
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	Favorable	-2
Taludes	No aplica	0
Puntuación		79

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 25. Cálculo geomecánica RMR (Bieniawski, 1989) del A2

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	250-100	12
2 Índice RQD de la roca		
RQD (%)	75-90	17
3 Separación entre diaclasas		
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2	8
4 Estado de las discontinuidades		
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
Abertura (mm)	>5	0
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Relleno blando, > 5 mm	0
Alteraciones	Moderada. Alteradamente	3
5 Agua freática		
Caudal por 10 m de tunel	No aplica	0
Presión agua/Tensión principal mayor	0	15
Estado general	Ligeramente húmedo	10
Corrección por discontinuidades		
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	Favorable	-2
Taludes	No aplica	0
Puntuación		70

Elaborado por: El autor, 2022

Tabla 26. Calificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Clase	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81 - 100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61 - 80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41 - 60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21 - 40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0 - 20

Fuente: (Bieniawski, 1989)

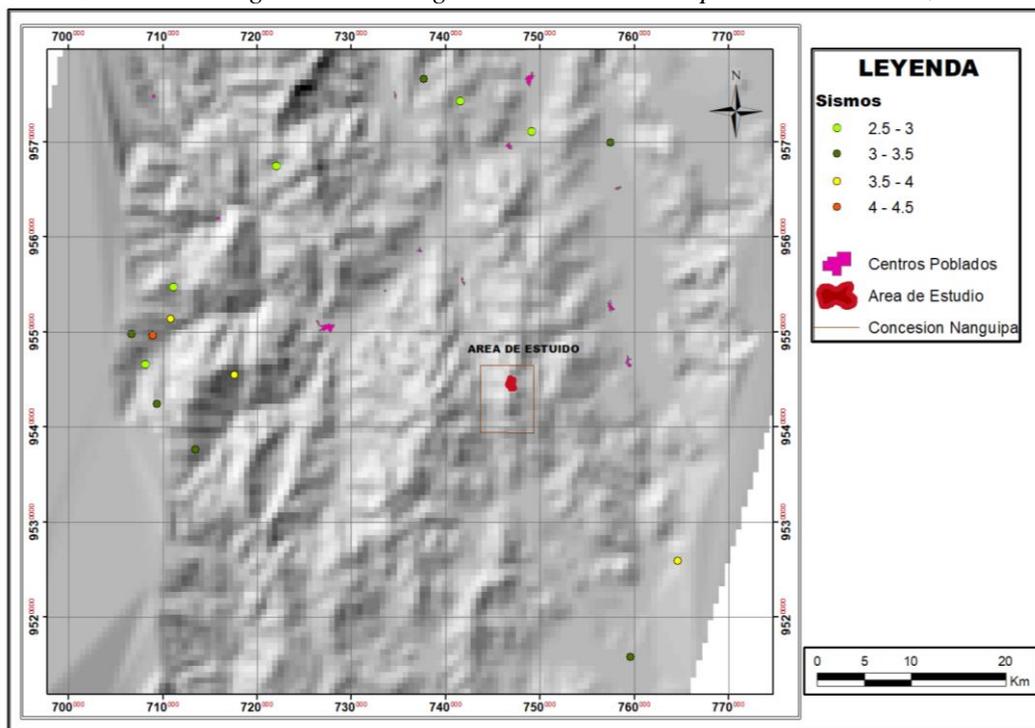
Luego de evaluar los resultados del ensayo de resistencia a la compresión y la clasificación geomecánica RMR, permitió convalidar la zona de emplazamiento, está caracteriza por la roca andesítica de tipo basáltica de resistencia muy dura y compactada, calificándolo como un macizo rocoso de buena calidad de clase II.

De la evaluación de los resultados del ensayo de laboratorio, permitió descartar otros ensayos complementarios como el de permeabilidad, por la existencia de una roca volcánica competente en la zona de emplazamiento de la escombrera, con una dureza y tenacidad muy buenas ante alteraciones físicas y químicas.

6.4.3.8. Consideración Sísmica

En el diseño de escombreras de debe tener en cuenta la sismicidad de la zona de investigación en donde se implantará la escombrera debido a que las vibraciones sísmicas podrían desestabilizar y desencadenar deslizamientos. Para el estudio de emplazamiento de la escombrera se recopiló información sismo-tectónico o registros sísmicos. De acuerdo con el inventario sísmico del Instituto Geofísico (IG-EPN), se estableció un rango de sismos desde 2005 hasta el 2021 en las a proximidades de la zona de estudio, con diferentes rangos de magnitud que comprende entre 2.5 a 4.5 Mw.

Figura 29. Sismos con magnitudes de rango 2.5 a 4.5Mw en las proximidades a la zona de estudio.



*Fuente: Instituto Geofísico (IG-EPN)
Elaborado por: El autor, 2022*

Para el cálculo de los factores de aceleración sísmica (horizontal y vertical), utilizamos la fórmula indicada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas):

$$E_h = \frac{0.6 (a_{max})}{g}$$

Donde:
 E_h = Componente horizontal del sismo
 a_{max} = Aceleración máxima del terreno
 g = Aceleración de la gravedad

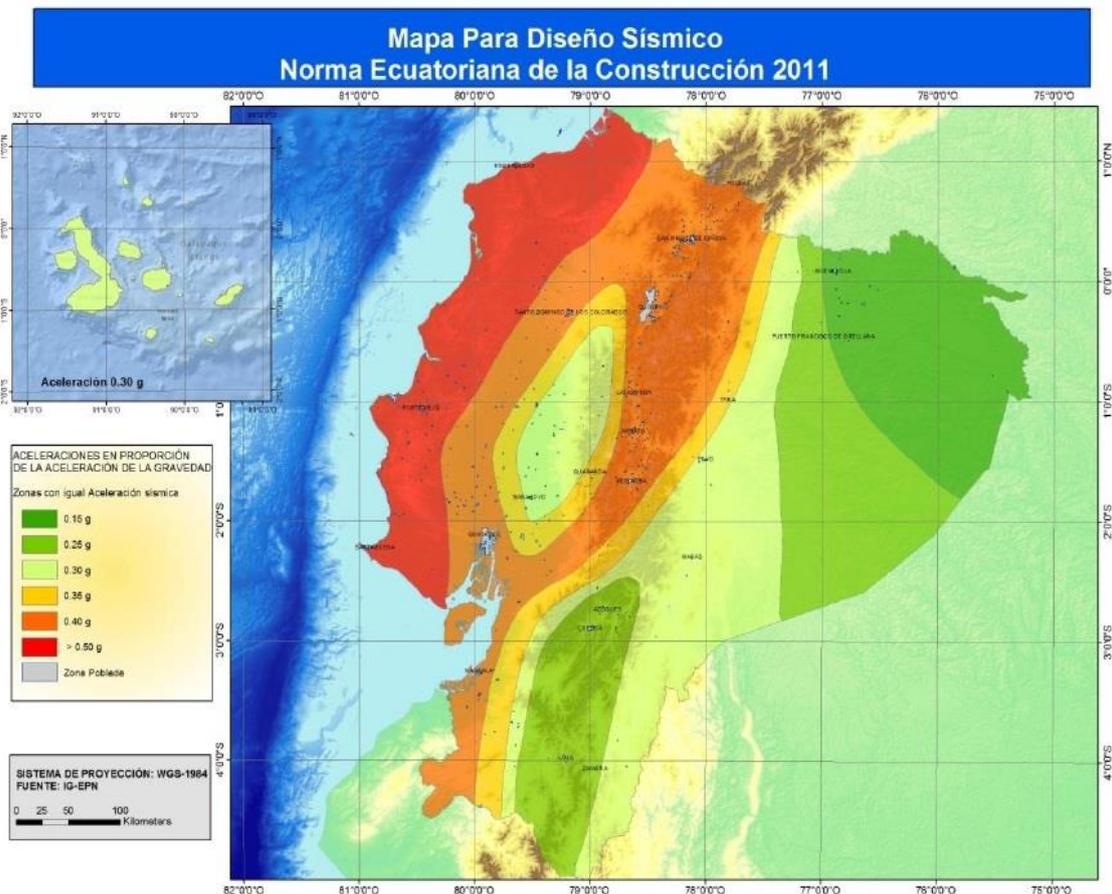
Para determinar la aceleración máxima empleamos la ecuación establecida por NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas:

$$a_{max} = Z * F_a$$

Donde:
Z = Valor factor Z
F_a = Coeficiente de amplificación de periodo cortó

El valor del factor Z se lo obtiene del mapa para diseño sísmico de la norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas.

Figura 30. Valor del factor de zona Z para zonas sísmicas para propósitos de diseño



Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas)

El valor de zona Z depende de la ubicación del área de estudio; “la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor” se localiza en la provincia de Zamora Chinchipe, Cantón Nangaritza, Parroquia Guayzimi, en la **zona sísmica III con un valor de factor Z igual a 0.3**, que se utilizó para la obtención del coeficiente de carga sísmica.

Tabla 27. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas)

La norma ecuatoriana de la construcción NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas, definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan:

Tabla 28. Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa > $S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas)

En la Tabla 29, se presentan valores del coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tabla 29. Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Tipo del perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas)

Finalmente, se efectuó el cálculo de los factores de aceleración sísmica (horizontal y vertical), para lo cual se utilizó la fórmula indicada en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS-Cargas Sísmicas:

$$a_{max} = Z * F_a$$

$$a_{max} = 0.30 g * 0.9$$

$$a_{max} = 0.27 g$$

Obtenida la aceleración máxima 0.27y teniendo en cuenta el valor de la gravedad que es de 9.8 m/s², el valor del coeficiente de carga sísmica en la componente horizontal es:

$$E_h = \frac{0.6 (a_{max})}{g}$$

$$E_h = \frac{0.6 (0.27 g)}{g}$$

$$E_h = 0.162$$

El valor del coeficiente de carga sísmica de la componente vertical es igual a:

$$E_v \geq \frac{2}{3} E_h$$

$$E_v \geq \frac{2}{3} (0.162)$$

$$E_v \geq 0.108$$

Concluyéndose que *los factores de aceleración sísmica horizontal y vertical* son:

$$E_h = 0.162 \text{ y } E_v \geq 0.108$$

6.5. Diseño Técnico de la escombrera

El planteamiento de la propuesta del estudio, prevé una solución, incluida las fases de construcción y operación, asegurando, de igual forma, la estabilidad del conjunto para la clausura y en la posterior recuperación de la escombrera. Es decir, no se debe asegurar solamente el método de construcción, el control del drenaje y de la contaminación; sino también otros aspectos relacionados con el comportamiento a largo plazo. Por otro lado, el recrecido de la escombrera se debe realizar de la forma más homogénea posible, que será por capas o tongadas horizontales. Para este mismo fin, se evitará que los escombros de distinta naturaleza se combinen en una misma zona de la escombrera.

6.5.1. Preparación del cimiento

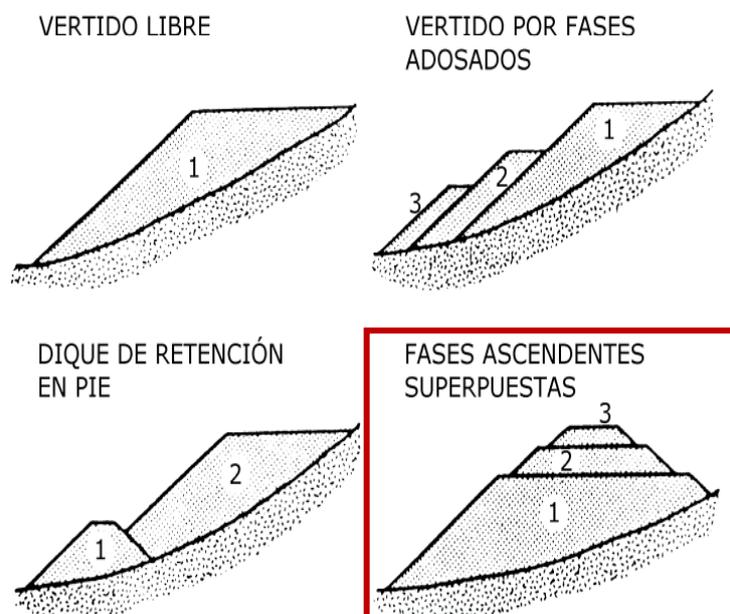
La preparación del cimiento de apoyo de la escombrera está en función de criterios ya estudiados, tales como datos climatológicos, superficie y carga a soportar por la base de apoyo. El proceso inicia con el desbroce, retiro de la capa vegetal y suelo residual.

El grado de preparación del cimiento se lo realiza tanto con valores económicos, diseños de estructuras, la secuencia constructiva y el ritmo de vertido en función de la producción tn/mes.

6.5.2. Sistema constructivo

Los tipos de escombreras que pueden distinguirse de acuerdo con la secuencia constructiva de las mismas en terrenos con pendiente, que es el caso más habitual, son cuatro que se muestran en la Figura 31.

Figura 31. Tipos de escombreras según la secuencia de construcción



Fuente: (López Jimeno, C. et al, 1989)

Para el diseño de la escombrera, se plantea una configuración de fases ascendentes o de bancos, que proporcionará una mayor estabilidad y se conseguirá una mayor compactación del material estéril, el avance será de manera ascendente, conforme el material sea vertido a cierta altura considerable, se realizarán bermas, así se irán formando bancos y se disminuirá las distancias del transporte de roca estéril y el ángulo global del talud, para de ese modo tener un control de la estabilidad a través de las bermas.

6.5.2.1. Especificaciones técnicas de la escombrera

El diseño de la escombrera se plantea en función de la morfometría y la pendiente del lugar del emplazamiento.

▪ **Altura de la escombrera**

Para determinar la altura, se realizó una diferencia de cotas de la cota mayor a la cota menor, es decir de la cota 2352 m.s.n.m. hasta la cota 2404 m.s.n.m.

$$\begin{array}{ll}
 H = H_{max} - H_{min} & \text{Donde:} \\
 H = 2404 - 2352 & \mathbf{H} = \text{Altura de la escombrera- m} \\
 H = 52 \text{ m} & \mathbf{Hmax} = \text{Cota superior máxima- m} \\
 & \mathbf{Hmin} = \text{Cota inferior-m}
 \end{array}$$

▪ **Numero de bancos**

La roca estéril se dispondrá formando bancos con el fin de incrementar la estabilidad. (López Jimeno, C. et al, 1989), recomienda una altura de banco de 10 m máximo.

$$\begin{array}{ll}
 \# \text{ de Bancos} = \frac{H_{max} - H_{min}}{Hb} & \text{Donde:} \\
 \# \text{ de Bancos} = \frac{2404 - 2352}{10} & \mathbf{Hb} = \text{Altura de bancos- m} \\
 & \mathbf{Hmax} = \text{Cota superior máxima- m} \\
 & \mathbf{Hmin} = \text{Cota inferior-m} \\
 \# \text{ de Bancos} = 5.2 \approx 5 \text{ bancos} &
 \end{array}$$

De acuerdo a los datos topográficos y de diseño, la escombrera estará compuesta por 5 bancos de 10 metros cada uno.

▪ **Angulo del talud de la escombrera**

Para el ángulo de talud de la escombrera se considera el ángulo de talud natural. “Se denomina al ángulo de inclinación de la superficie, con respecto a la horizontal que se forma cuando se vierte libremente la roca” (Cátedra Mecánica de Rocas, 2008). Para determinar el ángulo del talud, se lo hizo en función de rozamiento de los escombros según su

naturaleza y propiedades geotécnicas del escombros, tal como se muestra en la tabla 30, donde se establece el valor del ángulo de acuerdo a estimaciones de valores típicos.

Tabla 30. Estimación del ángulo de rozamiento

Formula	$\varphi = (M + \varphi'_1 + \varphi'_2 + \varphi'_3 + \varphi'_4) * \alpha$		Grados ($^{\circ}$)
Naturaleza	<i>M</i>	Silíceas	36
		Carbonatada	34
		Esquistosa	32
		Arcillosa	30
Compacidad	φ'_1	Suelta	-5
		Media	0
		Compacta	5
Forma y rugosidad	φ'_2	Angulosa	2
		Media	0
		Lajosa	-1
		Redondeada	-2
		Muy redondeada	-3
Tamaño	φ'_3	Arena	0
		Grava fina	1
		Grava gruesa	2
		Bloques, bolos	3
Granulometría	φ'_4	Uniforme	-3
		Media	0
		Extendida	3
Nivel de tensiones (altura de escombros)	α	Bajo (H < 20 m)	1.1
		Medio (20 < H < 40 m)	1
		Alto (H > 40 m)	0.9

Fuente: Ayala & Rodríguez, 1986

$$\varphi = (M + \varphi'_1 + \varphi'_2 + \varphi'_3 + \varphi'_4) * \alpha$$

$$\varphi = (36 + 0 + 2 + 2 + 0) * 1.1$$

$$\varphi = 44^{\circ}$$

Para el presente estudio del emplazamiento de la escombrera se trabajará con un ángulo de 44° para los taludes de la escombrera, con granos más gruesos y materiales angulares, soportan ángulos de reposo más pronunciados y alturas de hasta 20 metros, que para el proyecto es de 10 m para el diseño.

- **Bermas**

Las bermas permitirán la seguridad y estabilidad de los taludes de la Escombrera.

$$B = \frac{1}{3}H_b$$

$$B = \frac{1}{3} * 10 \text{ m}$$

$$B = 3.33 \text{ m} \approx 3$$

Donde:

B = Berma de seguridad

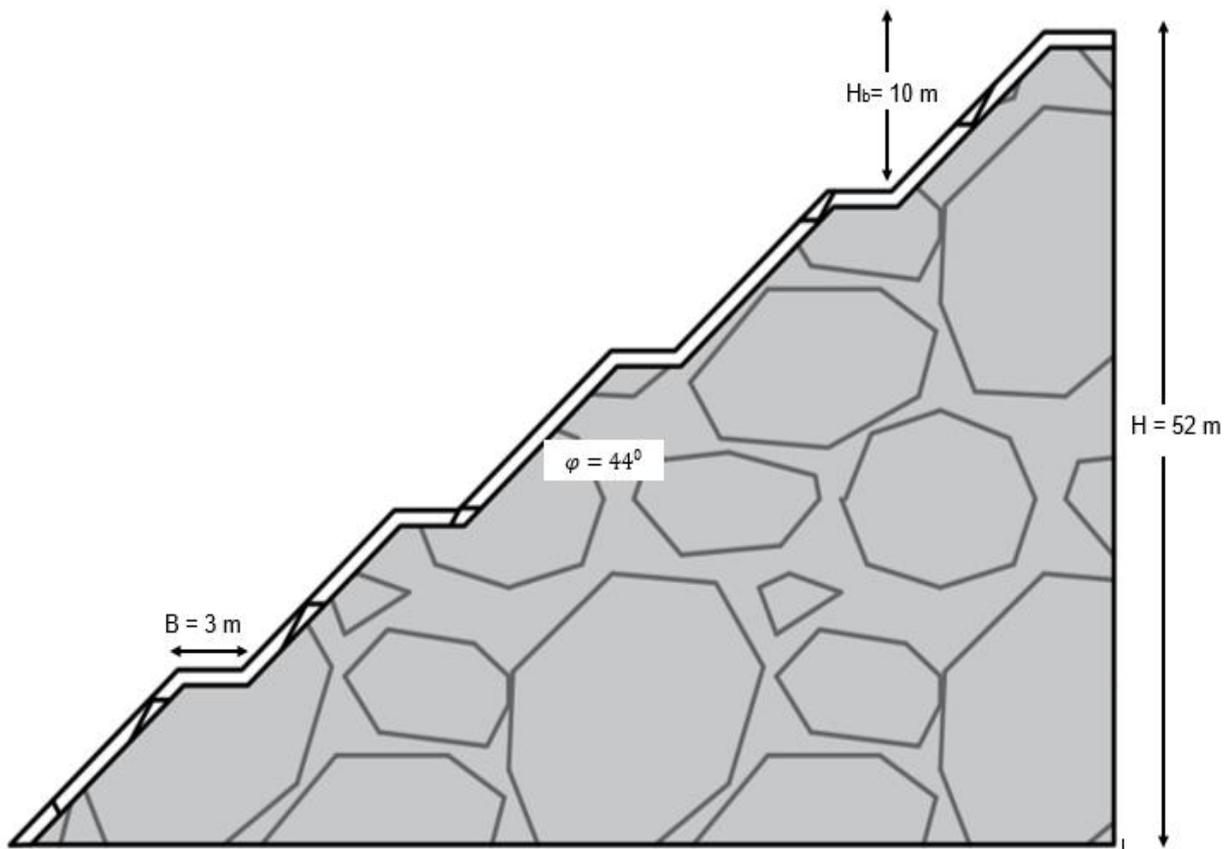
Hb = Altura de bancos

Tabla 31. Parámetros de diseño de la Escombrera

Etapa	Parámetro de diseño	Valor
Cota inferior: 2352 Cota Superior: 2404	Altura del banco	10 m
	Numero de bancos	5 #
	Ángulo de talud	44°
	Ancho de berma	3 m

Elaborado por: El autor, 2022

Figura 32. Diseño de las especificaciones técnicas de la escombrera..

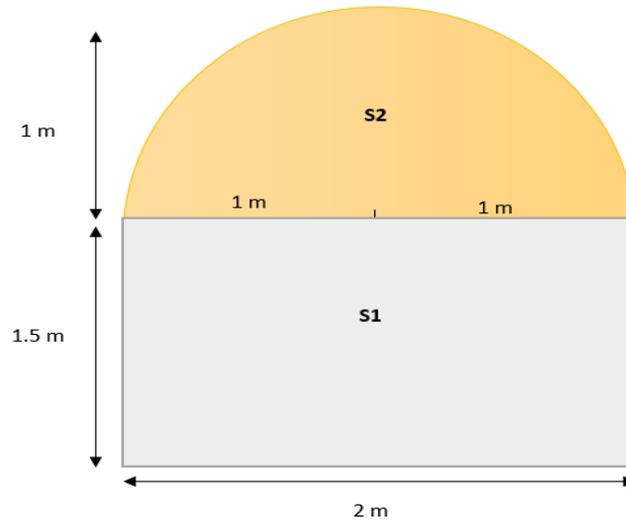


Elaborado por: El autor, 2022

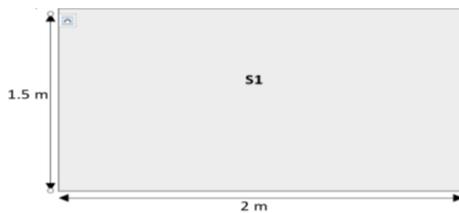
6.5.2.2. Ritmo de Llenado

Para calcular el ritmo de llenado de la escombrera se partió del cálculo del área de sección de la boca mina de la Asociación Minera.

Figura 33. Datos geométricos de la bocamina.



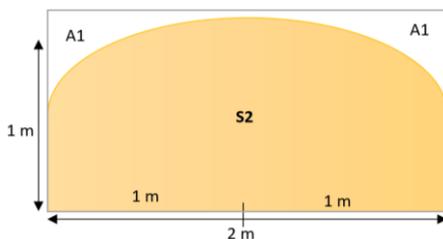
Elaborado por: El autor, 2022



$$S_1 = A = B * H$$

$$S_1 = A = 2 \text{ m} * 1.5 \text{ m}$$

$$S_1 = A = 3 \text{ m}^2$$



$$A = B * H$$

$$A = 2 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$2A1 = (B/2 * H) / 3$$

$$2A1 = (1 \text{ m} * 1 \text{ m}) / 3$$

$$2A1 = 0.333 \text{ m}^2$$

$$A1 = 0.1665 \text{ m}^2$$

$$S_2 = A - A1$$

$$S_2 = 2 \text{ m}^2 - 0.1665 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 1.8335 \text{ m}^2$$

$$A_T = S_1 + S_2$$

$$A_T = 3 \text{ m}^2 + 1.333 \text{ m}^2$$

$$A_T = 4.333 \text{ m}^2$$

Para determinar el volumen roto del material, se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

Volumen Roto = Área Afectica (A_T) * Longitud de barreno * Ke

$$V_R = 4.333 \text{ m}^2 * 1.5 \text{ m} * 1.7$$

$$V_R = 11.049 \text{ m}^3$$

- **Relación estéril – mineral**

Considerando la relación estéril-mineral en las labores de explotación de la Asociación Minera, establece que para extraer 3 m³ de mineral hay que remover 11.049 m³ de estéril, se obtiene un volumen de material estéril.

$$\frac{3 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3} = \frac{11.049 \text{ m}^3}{X}$$
$$X = \frac{1 \text{ m}^3 * 11.049 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3}$$
$$X = 3.683 \text{ m}^3$$

$$\text{Ritmo de llenado mensual} = 3.683 \text{ m}^3 * 22 \text{ dias (1 mes)}$$

$$\text{Ritmo de llenado mensaul} = 81.026 \text{ m}^3/\text{mes}$$

$$\text{Ritmo de llenado anual} = 81.026 \text{ m}^3/\text{mes} * 12 \text{ meses}$$

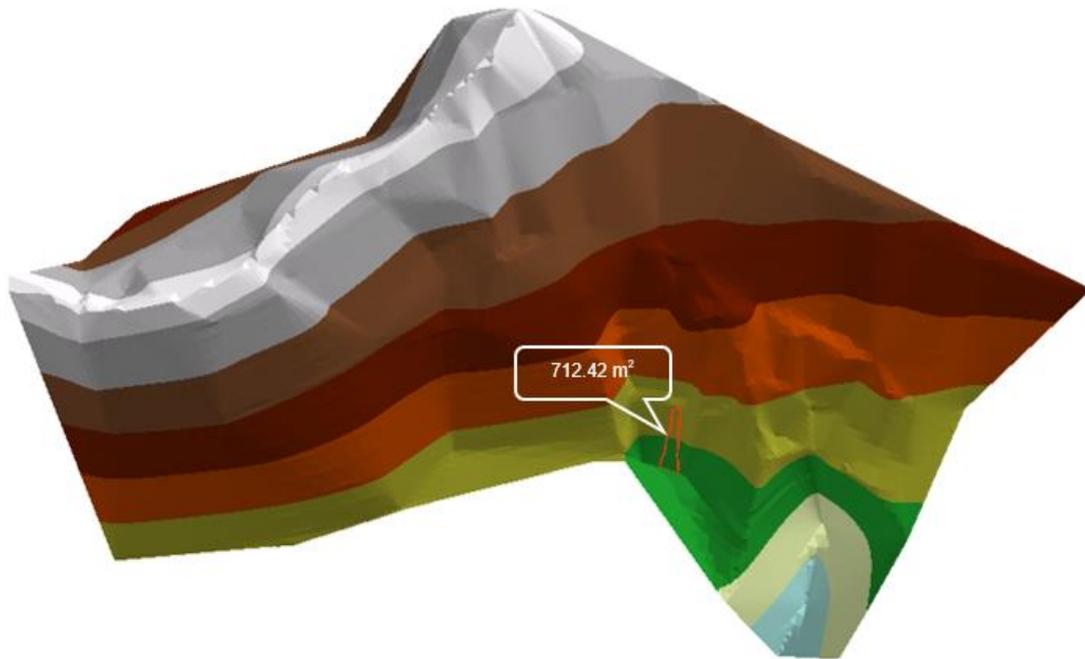
$$\text{Ritmo de llenado mensaul} = 972.312 \text{ m}^3/\text{anual}$$

El ritmo de llenado diario 3.683 m³ es bajo, por lo que corresponde a la capacidad en función de la producción día que genera el promotor minero para este frente de trabajo.

- **Superficie**

La definición del área para la implantación de la escombrera se realizó con el apoyo del software ARG GIS, siendo este un software de aplicación técnica, permitiendo determinar las características morfológicas reales del área, y así definir la superficie de la zona del emplazamiento, con 712.42 m².

Figura 34. Superficie de escombrera de estériles



Elaborado por: El autor, 2022

▪ **Volumen de almacenamiento.**

El volumen del almacenamiento, está en función de la superficie de la escombrera y de la diferencia de altura de la escombrera.

a) Volumen de material estéril a almacenar:

$$V_T = \text{Superficie escombrera (m}^2\text{)} * \text{Altura escombrera (m)}$$

$$V_T = 712.42 \text{ m}^2 * 52 \text{ m}$$

$$V_T = 37045.84 \text{ m}^3$$

▪ **Distancia de transporte.**

Para la disposición de estériles se conjuga dos parámetros coste y el tiempo de operación, lo cual delimita uno de los criterios específicos más importantes que es la distancia de transporte desde la explotación hasta la escombrera; para optimizar el coste total de la operación. Existen una vía de acceso hacia la zona mineralizada de la asociación minera, esta también puede ser usada para tener acceso hacia la escombrera, debido a la cercanía del frente de explotación con una distancia de 243 m. A medida que avance la conformación de plataformas, se acortará la distancia de recorrido.

Figura 35. Recorrido de la Bocamina y escombrera



Elaborado por: El autor, 2022

▪ **Tiempo de vida de la escombrera.**

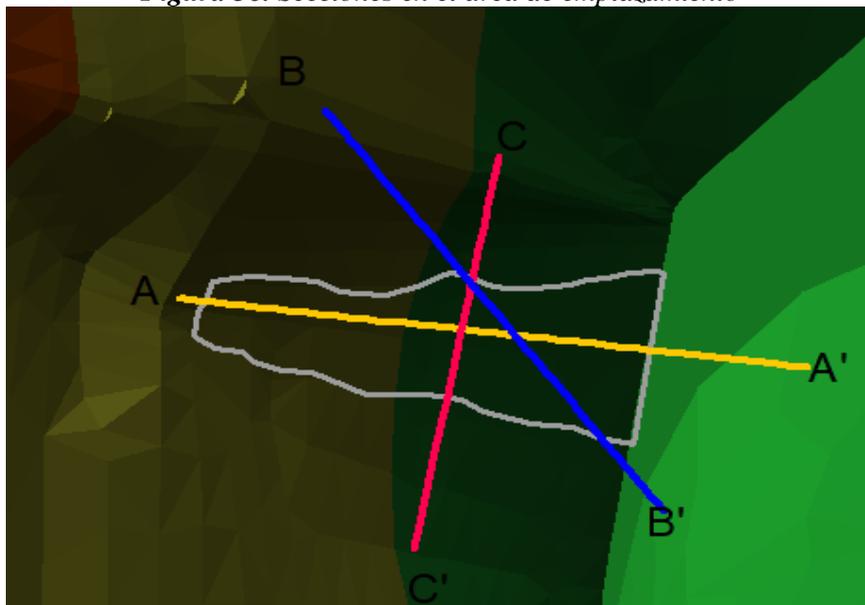
Tiempo de vida útil de la escombrera:

$$V_T = \text{Volumen total escombrera (m}^3\text{)} / \text{Volumen anual escombrera (m}^3\text{/año)}$$

$$V_T = 27045.84 \text{ m}^3 / 972.312 \text{ m}^3\text{/anual}$$

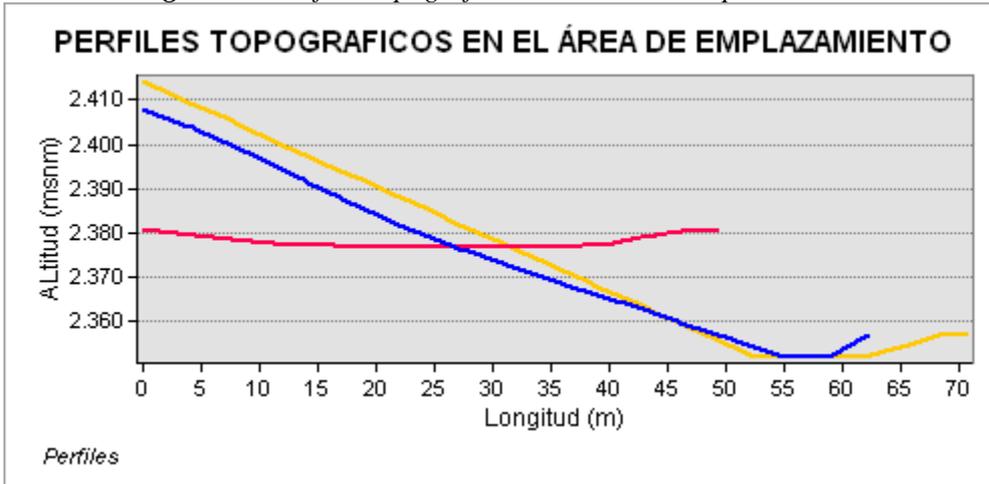
$$V_T = 37.81 = 37 \text{ años}$$

Figura 36. Secciones en el área de emplazamiento



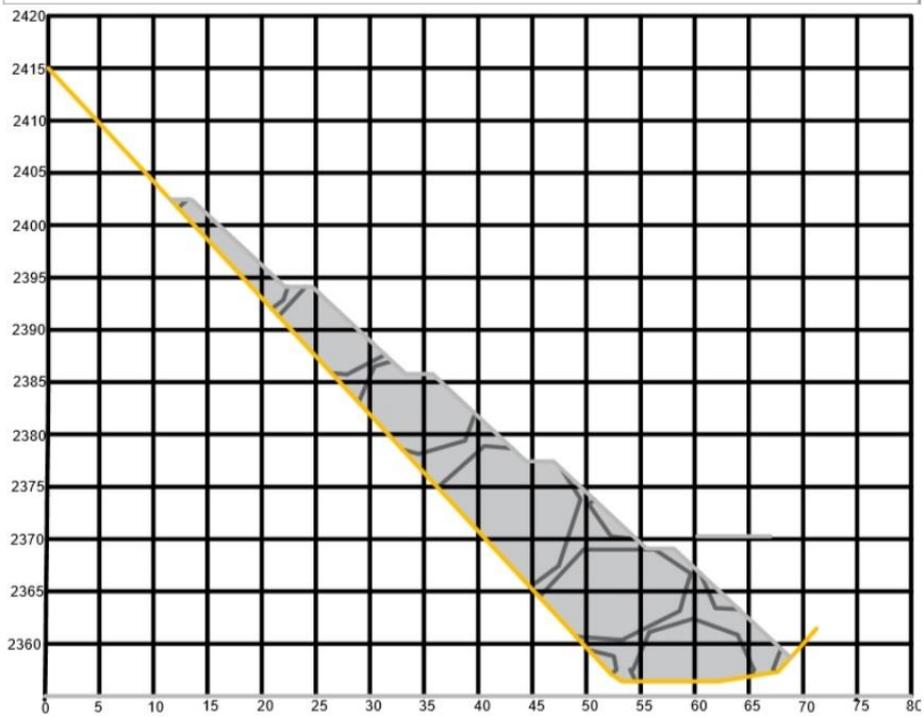
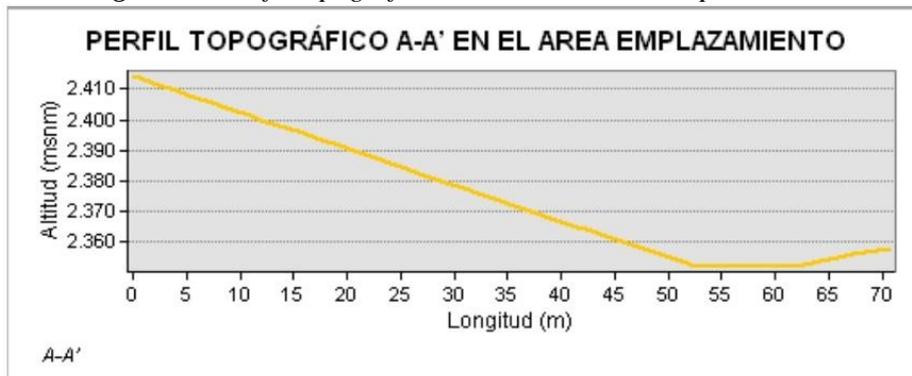
Elaborado por: El autor, 2022

Figura 37. Perfiles topográficos en el área de emplazamiento



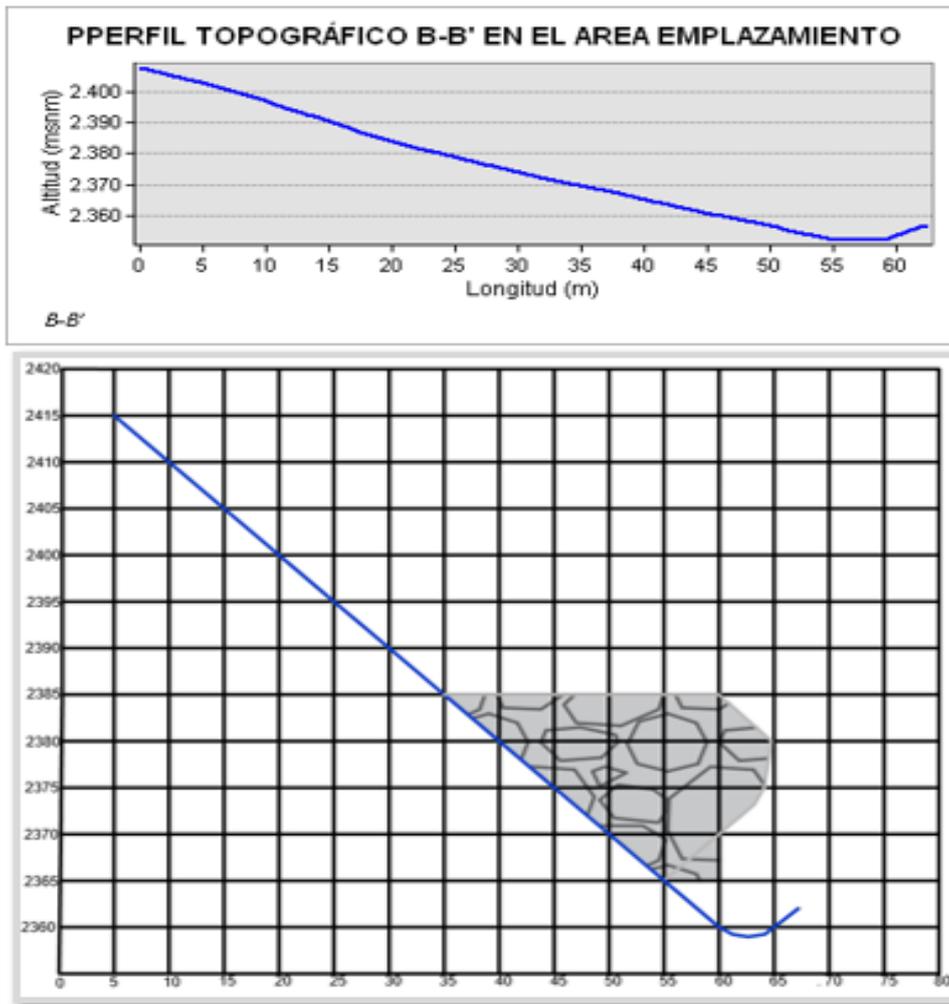
Elaborado por: El autor, 2022

Figura 38. Perfil topográfico A-A' en el área de emplazamiento



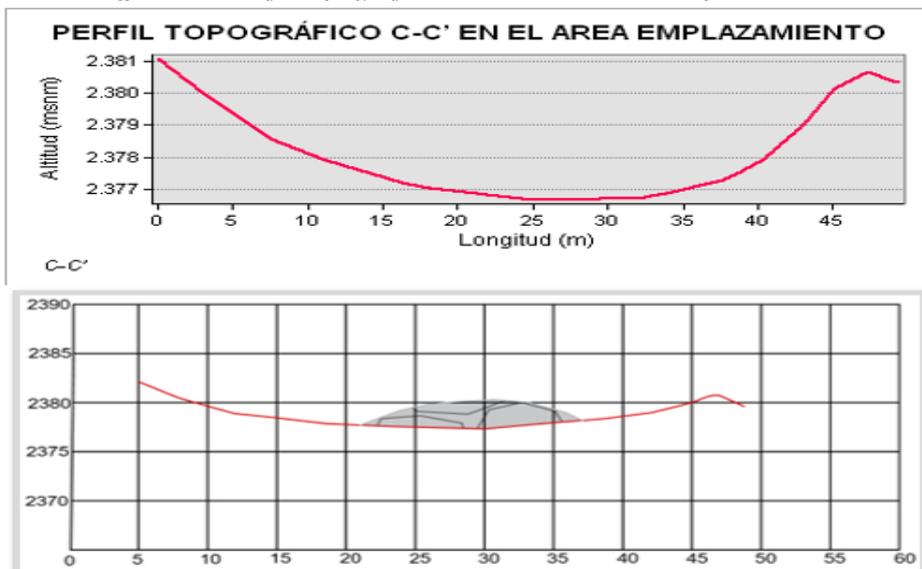
Elaborado por: El autor, 2022

Figura 39. Perfil topográfico B-B' en el área de emplazamiento



Elaborado por: El autor,2022

Figura 40. Perfil topográfico C-C' en el área de emplazamiento



Elaborado por: El autor,2022

6.5.3. Drenaje

El control de las aguas acidas es un aspecto básico en la construcción y operación de las escombreras. Por el clima templado lluvioso con temperaturas que promedia entre 10 ° C y 20 ° C y una humedad muy alta, exige la implementación de un dren colector para descartar posibles efectos secundarios sobre el medio.

La construcción de la red de drenaje perimetral limitará las escorrentías superficiales, precipitaciones directas y filtraciones del cimiento que normalmente, son mínimos.

6.5.3.1. Solución ácida de escombros.

La caracterización ácida de los minerales es un componente esencial para el manejo del DAR y la prevención del medioambiente a largo plazo. Estos drenajes es la consecuencia de la oxidación de los sulfuros, la cual se mide en la concentración del hidrógeno. Para analizar las muestras de escombros, se determinó el pH; los valores estimados de pH se evidencian en la siguiente tabla 32.

Tabla 32. Valores de pH de las muestras de escombros

Muestra	Coordenadas		Unidad	pH		
	UTM/WGS 1984					
Escombros 1	Latitud	747031	Adimensional	6.10		
	Longitud	9544742				
	Altura	2418				
Escombros 2	Latitud	747042		Adimensional	6.2	
	Longitud	9544734				
	Altura	2406				
Escombros 3	Latitud	747013			Adimensional	6.4
	Longitud	9544722				
	Altura	2431				

Elaborado por: El autor, 2022

Según el criterio de (GIDAHATARI, 2012) existen dos tipos de drenaje; donde los escombros analizados tienen un pH > 6, por lo que se los clasifica en un drenaje neutro o de sales.

Tabla 33. Tipos de drenaje de roca

pH < 6	Se trata de drenaje ácido de roca (DAR)
pH > 6	Se trata de drenaje neutro (DNM) o drenaje de sales (DS)

Fuente: (GIDAHATARI, 2012)

6.5.3.2. Cálculo del diseño de las cunetas perimetrales.

El diseño incluye la construcción de cunetas con el propósito de prevenir la generación de filtraciones en el interior de la escombrera. Su dimensionamiento se realizará a partir de la determinación de su caudal máximo. Para el análisis se utilizó la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{CSI}{3.6}$$

Dónde:

Q= Caudal en m³ /s

C= coeficiente de escorrentía

I= Intensidad de la lluvia en mm/h

S= superficie vertiente en Km²

Para el cálculo del diseño, se aplicó la metodología convencional para la obtención de los coeficientes de escorrentía. Para la evaluación del coeficiente de escorrentía, se utilizó la tabla propuesta Schwab *et al.* 1981 para áreas no urbanizables. Donde los coeficientes de escorrentía dependen del uso de la tierra, el tipo de suelo y la pendiente.

a) **Coficiente de escorrentía (C)**

Se refiere a la precipitación que no logra infiltrarse en ningún momento y logra llegar a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. (Hidrología superficial y subterránea). Para la obtención de este coeficiente se basó en la toma de valores referenciados por el Autor Schwab *et al.* 1981 y citados en la tabla 34 adjunta.

Tabla 34. Valores del coeficiente C de la escorrentía

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
	Tierra franca arenosa	Arcilla y limo	Arcilla Compactada
Bosques			
Llano de 0-5% de pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado de 5-10% de pendiente	0.25	0.35	0.50
Montañoso de 10-30% de pendiente.	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Llanos	0.10	0.30	0.40
Ondulados	0.16	0.36	0.55
Montañosos	0.22	0.42	0.60
Tierras cultivadas			
Llanas	0.30	0.50	0.60
Onduladas	0.40	0.60	0.70
Montañosos	0.52	0.72	0.82
Zonas urbanas	30% de superficie impermeable	50% de superficie impermeable	70% de superficie impermeable
Llanas	0.40	0.55	0.65
Onduladas	0.50	0.65	0.80

Fuente: Schwab et al. 1981

Los valores establecidos para el coeficiente de escorrentía se fundan sobre la base de la topografía y vegetación y textura del suelo presente en el área, el cual pertenece al grupo de bosque montañoso con pendientes de 10-30%, junto con el parámetro textura de suelo, que es de arcilla y limo, por lo que el valor de escorrentía corresponde a 0.5.

b) Intensidad de precipitación (I)

Calcular la intensidad de precipitación, nos permite obtener información acerca de la cantidad precipitada y de su frecuencia específica del área emplazamiento. Por ello, es importante tener en consideración la intensidad de precipitación; para así descartar factores desencadenantes que afecten a la estabilidad del macizo rocoso e implementar el diseño idóneo de las cunetas recolectoras. Para el cálculo se utilizará la ecuación de la estación M0103 que se evidencia en la tabla 24. (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA)

Tabla 35. Determinación de Ecuaciones para Cálculo de Intensidad Máxima de Precipitación

Estación		Intervalo de tiempo	Ecuación
Código	Nombre	(min)	
M0103	San Francisco – San Ramón	5<30	$i = 147.7359 * T^{0.1724} * t^{-0.3443}$
		30<120	$i = 411.7584 * T^{0.1648} * t^{-0.6374}$
		120<1440	$i = 1044.461 * T^{0.1659} * t^{-0.8335}$

Fuente: INAMHI

c) Periodo de Retorno (T)

T= El número de años que en promedio se presenta un evento determinado de igual o mayor intensidad se llama período de retorno, intervalo de recurrencia o simplemente frecuencia. (INAMHI)

t= intervalo de tiempo

Para la cual empleando la fórmula propuesta por (INAMHI) se procede a realizar el cálculo correspondiente para obtener la intensidad de precipitación la cual se ve representada en la siguiente tabla 36.

Tabla 36. Cálculo de la Intensidad de Precipitación

Cunetas	Periodo de retorno (T)	Intervalo de tiempo (t)	Intensidad de precipitación (I)
	(Años)	(min)	mm/h
0	10	5	134.05
1	10	5	134.05
2	10	5	134.05
3	10	5	134.05
4	10	5	134.05
5	10	5	134.05
6	10	5	134.05
7	10	5	134.05
8	10	5	134.05

Fuente: INAMHI

Elaborado por: El autor, 2022

d) Superficie

La definición del área que se ve afecta por la precipitación y la escorrentía para la implantación de la escombrera se realizó con el apoyo del software ARG GIS, permitiendo determinar los valores reales del área en km² adjunta en la tabla 37.

Tabla 37. Resultados obtenidos de las Áreas correspondientes a las diferentes cunetas

Cunetas	Área en metros cuadrados	Área en Kilómetros cuadrados
	m ²	Km ²
0	100	0.0001
1	6	0.000006
2	7	0.000007
3	6	0.000006
4	11	0.000011
5	14	0.000014
6	15	0.000015
7	16	0.000016
8	17	0.000017

Elaborado por: El autor, 2022

e) Cálculo del caudal máximo

Finalmente se realiza el cálculo para obtener el caudal correspondiente en cada nivel de los diferentes taludes lo que se ve reflejada en la tabla 38:

Tabla 38. Resultados obtenidos mediante el cálculo del caudal máximo para los diferentes Bancos

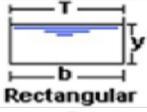
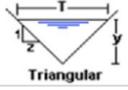
Cunetas	Coeficiente de escorrentía (C)	Intensidad de precipitación (I)	Área medida	Q max
		(Años)	Km ²	m ³ /s
0	0.50	134.05	0.0001	0.000186
1	0.50	134.05	0.000006	0.000111
2	0.50	134.05	0.000007	0.000130
3	0.50	134.05	0.000006	0.000111
4	0.50	134.05	0.000011	0.000204
5	0.50	134.05	0.000014	0.0004260
6	0.50	134.05	0.000015	0.000279
7	0.50	134.05	0.000016	0.000297
8	0.50	134.05	0.000017	0.000316

Elaborado por: El autor, 2022

6.5.3.3. Determinación del tipo de sección.

Para la implementación de las cuentas, se recomienda 2 tipos: Rectangular y Triangular como se observa en la tabla 39. La pendiente para la construcción es 1%, que corresponde a la topografía del terreno.

Tabla 39. Tipos de Secciones Hidráulicas

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$

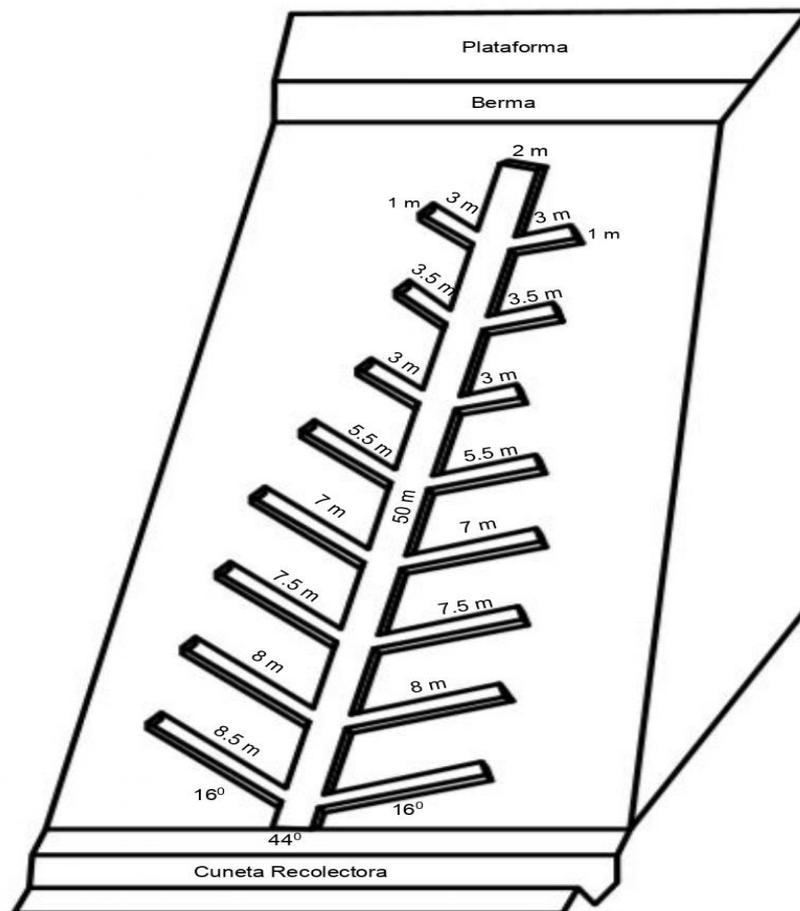
Fuente: (Guzman Tomanguillo 2013)

6.5.3.4. Diseño del sistema de drenaje.

Un esquema en planta de un sistema de drenaje para el manejo de aguas ácidas de la mina, contendrá una cuneta general en el pie de la escombrera la que se descarga el agua de drenaje a través de unos colectores principales en los que confluyen otros secundarios.

De esta manera, se debe disponer de una red de zanjas o tubos drenantes conectados a unos colectores. La construcción de una zanja de drenaje en el emplazamiento de la escombrera es de tipo denominado “Francés”, este proceso consiste en la colocación en el interior de la misma de material granular protegido por un geotextil o lámina filtrante.

Figura 41. Diseño del sistema de drenaje en el emplazamiento de la escombrera



Elaborado por: El auto, 2022

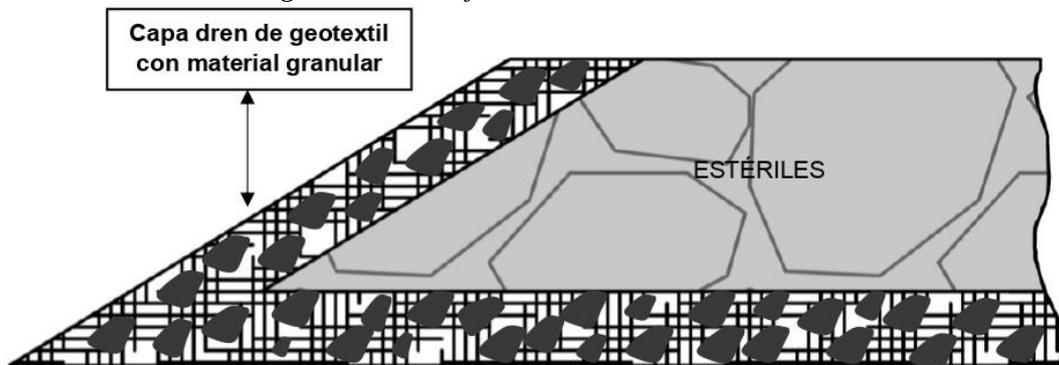
6.5.3.5. Preparación de pozos de drenes.

Preparación de terreno: con el apoyo con equipo auxiliar excavadora o rompe rocas si fuese necesario) se realizó la excavación y perfilado del pozo.

Forrado de pozos: para mayor seguridad se tiende dos capas de geotextil esto para tapar y suavizar el terreno de piedras angulosas que pueden dañar a capa de geomembrana.

La alternativa de colocar drenes rocosos en la base de la escombrera, constituidos por el mismo material duro de los materiales estériles; serán colocados estratégicamente o segregados en el pie del depósito, y a través de este las aguas circularán con mayor facilidad.

Figura 42. Drenaje del talud de la escombrera



Fuente: López Jimeno, 1989 modificado

Con este sistema, la infiltración aparecerá como el resultado de las precipitaciones directas sobre la superficie de las escombreras. De manera ideal, el agua percolará a través del cuerpo de la escombrera debido a la alta permeabilidad de la capa base (formada por bloques de roca gruesa estratégicamente colocados o por la propia segregación natural) que facilitará su salida de la escombrera.

7. Discusión

La zona de estudio se halla conformada por rocas ígneas extrusivas que primordialmente está conformada por minerales micáceos, cuarzo, feldespatos; y en una menor proporción se observan plagioclasas, piroxenos, granates y hornblendas. Todos estos minerales se encuentran básicamente presentes en la zona de estudio. Del análisis de las muestras recolectadas *in-situ* en la zona de estudio se llegó a determinar que las rocas que la constituyen son del tipo de andesitas, tobas andesíticas, brechas volcánicas y zonas metamorfizadas como el Skarn. Estructuralmente en el área de estudio de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor se encuentra influenciada por eventos tectónicos, dando lugar al fracturamiento de la roca y la formación de fallas definidas *in-situ* por sus características de relleno de mineralización y la asociación de estrías en sus planos. En la zona de estudio se identificaron dos fallas. La primera falla posee una dirección de SE; con un azimut de 178° y un buzamiento de 45° NE; la segunda falla posee una dirección de 68° NE, con un buzamiento de 79° NW, estas fallas la componen los contactos entre las unidades litológicas del área entre las tobas andesitas y las brechas volcánicas, y, como secundarias una falla de dirección NE de 33° , buzamiento 45° SE.

Las alternativas para la elección del emplazamiento fueron dos, denominadas Escombrera 1 y Escombrera 2 (*Figura 17*). Para la ubicación se realizó un reconocimiento del área, se tomó en cuenta la morfología del terreno, la conformación de la cuenca y/o quebrada y características topográficas, distancia mina escombrera, escorrentía de las aguas superficiales. Estas dos alternativas presentan facilidades referentes a la bocamina y el frente de explotación con dirección SW. Para la elección del emplazamiento se utilizó “El Método de Índice de Calidad”; en donde el área la “Escombrera 1” es el emplazamiento adecuado para los materiales estériles, clasificándola de forma en Ladera.

El área de trabajo, se caracteriza por un clima tipo cálido húmedo, lluvioso temperado con temperaturas que oscilan entre 10°C y 20°C , con precipitaciones anuales que van desde 2000 a 3000 mm. Geomorfológicamente la zona de estudio se encuentra dominada por una zona montañosa con relieve irregular desde media a fuerte (*Tabla 16*). Por otro lado, la red hidrográfica en el área está limitada por quebradas y arroyos intermitentes con procesos de escurrimiento superficial mínimos, que posteriormente alimentan a la quebrada Guayzimi.

Para la definición del área de emplazamiento de la escombrera se hizo una caracterización topográfica, geológica y geotécnica, donde se pudo conocer mediante el ensayo de RCS la resistencia del cemento, para ello se obtuvo dos muestras M-1 y M-2, donde se obtuvo M-1

(117.53 MPa) y M-2 (128.04 MPa) y a la vez; se hizo un caracterización del cimiento para establecer el cálculo geomecánica RMR de Bieniawski, para comprobar la calidad y la clase del macizo rocoso, siendo II de calidad buena. Según los resultados obtenidos luego de haber realizado los ensayos se tiene que el macizo es muy duro y de condiciones competentes para el emplazamiento; y así, descartar otros ensayos como el de permeabilidad.

El diseño del sistema constructivo se lo configuró de fases ascendentes o de bancos, garantizando la estabilidad de la escombrera, definiendo las especificaciones técnicas, el ritmo de llenado y la relación estéril mineral, permitiendo establecer la capacidad el volumen de almacenamiento en m^3 /anual y a su vez, el tiempo de vida de la escombrera. Por otro lado, diseño del drenaje, se lo realizó por medio de un cálculo de las cunetas perimetrales, donde se obtuvo los valores del coeficiente de escorrentía, la intensidad de precipitación, el periodo de retorno y la superficie, para calcular el caudal máximo de cada cuneta perimetral.

8. Conclusiones

- Topográficamente el área de estudio de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410, comprende una superficie total de 8 ha, presenta una morfología irregular con alturas que oscilan entre 2230 m.s.n.m y 2690 m.s.n.m.
- En base al modelo de rango de pendientes en la zona de estudio, se definen tres clases de pendientes; media, con un rango de 12 – 25%; de media a fuerte con un rango de 25 – 40% y fuerte con un rango de 40 – 70%.
- Geológicamente el área de estudio de la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410 se encuentra dentro de las unidades litológicas Piunza y Saquea formada por la evolución geológica de la Cordillera del Cóndor en el periodo Triásico, era Mesozoico - eón Fanerozoico. Localmente se han evidenciado 4 tipos de litologías, tobas andesíticas, andesitas basálticas, brecha volcánica y skarn.
- En el estudio se identificaron un conjunto de fallas principales y secundarias. La primera falla posee una dirección preferencial de SE; con un azimut de 178° y 45° de buzamiento NE; la segunda falla posee una dirección de 68° NE, con un buzamiento de 79° NW, estas fallas la delimitan entre los contactos entre las unidades litológicas de tobas andesitas y las brechas volcánicas; y, otra estructura con una dirección NE de 33° y buzamiento 45° SE.
- De las operaciones que desarrolla la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de Concesión Nanguipa, código 501410, se concluye, previo al estudio de campo, que no se dispone de una escombrera con los parámetros técnicos operativos y social ambientales que esta actividad exige.
- La disposición inadecuada y desordenada de escombros de mina generan impactos visuales y ambientales en el área. Lo cual impulso la propuesta de las alternativas de disposición técnica y operativa cubierto en el estudio.
- Para el estudio de la elección del emplazamiento de la escombrera se empleó el método de índice de calidad, definiendo el área de la escombrera 1 como la más idónea para estructuras.
- Para la determinación de la ubicación de la escombrera, se consideró; los factores, económico, social, ambiental y técnico, lo que proporcionará una mejor operatividad de las actividades de la sociedad minera de Hecho Cordillera del

Cóndor, permitiendo finiquitar que el área de emplazamiento de la escombrera 1 es viable para el desarrollo de actividades de depósito de escombros.

- En el proceso del diseño en la zona de emplazamiento, la escombrera se la clasificó sobre Ladera, en razón de las características morfológicas, estructurales y competencias del macizo que presenta el área; por lo que el método constructivo se definió como fases ascendente o de bancos, lo que nos proporciona un mayor factor de seguridad, garantizando así una mejor estabilidad.
- Se pudo establecer, que el área de emplazamiento para la disposición final de material estéril es de 712.42 m². El volumen de escombros de material estéril a almacenar es 37045.84 m³, teniendo en cuenta, que los escombros acumulados en otras zonas no serán trasladados al lugar de emplazamiento; y el volumen de escombros que se producirán por año es de 972.312 m³/anual. Por lo tanto, la vida útil de la escombrera destinados a las operaciones mineras de la Asociación minera de hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa código 501410 será de 37 años.
- Las características morfológicas que presenta el área de emplazamiento, definen una zona de pendiente media a fuerte de 12% a 40%, donde no se presenta un peligro de embalsamiento de aguas por lo que no afectaría a la estabilidad de la escombrera.
- El macizo rocoso del emplazamiento de la escombrera está compuesto por andesita basáltica competente con una resistencia muy dura y compactada, de clase II con un macizo rocoso de calidad Buena., siendo usualmente de textura fina, no porosa con una incidencia baja por los agentes exógenos y no dejando desarrollar fracturas sobre el macizo, permitiendo descartar otros ensayos complementarios como el de permeabilidad, por la existencia de una roca volcánica competente en la zona de emplazamiento de la escombrera, con una dureza y tenacidad muy buenas ante alteraciones físicas y químicas.

9. Recomendaciones

- La Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor; circunscrita en el área de concesión minera Nanguipa código 501410, debe tomar en cuenta la producción de escombros mineros, por lo que se recomienda establecer un área específica para la disposición final de este tipo de materiales mineros, con la finalidad de mitigar impactos al medio natural de la zona de estudio que se genera por el inadecuada disposición y manejo de escombros mineros.
- Considerar una alternativa a la problemática técnica social y ambiental la implementación de una 'área de disposición para materiales estériles producto de las actividades mineras.
- Someter a análisis la propuesta el emplazamiento de la escombrera planteada en la presente investigación, a fin de mejorar las condiciones económico, social, ambiental y técnico; para así mitigar los impactos ambientales que se están generando para la disposición inadecuada de los escombros.
- Durante el ajuste de la escombrera considerar los parámetros de drenaje necesarios para evitar posibles filtraciones que sobrelleven a la generación de planos de falla, y como consecuencia el colapso del área del emplazamiento.
- Considerar la implementación de estructuras de contención que incrementen los parámetros de seguridad y aseguren el óptimo funcionamiento de la escombrera.

10. Bibliografía

Ayala, F., & Rodríguez, J. (1986). *Recomendaciones para el proyecto y ejecución de ejecución de escombreras*. Madrid: Eptisa.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. (s.f.). *Inamhi*.
Obtenido de Inamhi:
[https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDAD
ES_V_FINAL.pdf](https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDAD_ES_V_FINAL.pdf)

Actis, R. A. (2009). *Escombreras - Ubicación, Estabilidad y Contaminación Ambiental*. EMPREMIN: Buenos Aires.

Blanco, A. E. (2012). *Escombreras y presas de residuos*. España: Universidad de Cantabria.

Cando, G. V. (2019). *Las Condiciones de manejo y disposición final de escombros en la ciudad de Latacunga y su influencia sobre paisajes y calidad de vida*. Ambato : Universidad Técnica de Ambato .

Casadiego quintero, E., Gutiérrez Bayona, A., Herrera Lopez, M., & Villanueva Paez, M. (2017). *Manejo estratégico de la producción de residuos estériles de minería sustentable, utilizando prácticas mineras eco-eficientes en Colombia*. Colombia: Revista de Investigación Agraria y Ambiental .

Castaño, C. C. (2011). *Estudio de prefecatabilidad para la implementación de una escombrera de residuos sólidos generados en obras civiles en el área metropolitana en el Valle Aburrá*. Medellín : Universidad de Medellín .

Castillo, W. (2019). *Metodología para levantamiento geológico*. Quito : Instituto de investigación geológico y energético .

Castro, J., & Carreño, B. (2008). *DISEÑO DE ESCOMBRERAS DE LA MINA DE ROCA FOSFATICA (CONCESION RIECITO), CERRO RIECITO, MUNICIPIO JACURA, ESTADO FALCON*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

CLIRSEN – MAGAP (SIGAGR). (2011). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000*. Guayaquil : SENPLADES.

Donaire Márquez , M., & López Jimeno, C. (2008). *GUÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESCOMBRERAS*. Madrid.

Feijoo Calle , E. P., & Padrón Suarez, J. C. (2020). *La resistividad de rocas y su relación con la resitencia a compresión en mina*. Azuay: Universidad del Azuay.

Franquet Bernis , J., & Querol Gómez , A. (2010). *NIVELACIÓN DE TERRENOS POR REGRESIÓN TRIDIMENSIONAL*. Tortosa, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia (España).

GAD de Nangaritza. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Nangaritza*. Nangaritza: GAD de Nangaritza.

Galván, I. L. (2018). *Proyecto constructivo para la legalización y consecución de la escombrera paso de los Bueyes*. Uncona.

García, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. México: Grupo Editorial Patria.

GIDAHATARI. (2012). Proceso de drenaje ácido de roca . *GIDAHATARI*.

Piña . B, A., & Casal, S. (2015). *Criterios para el diseño y manejo de escombreras*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

Piña, A. B. (2014). *Diseño y manejo de escombreras*. Caracas, Venezuela: Universidad Naional de Caracas.

Rodríguez, M. G. (2012). *Geología Estructural. Esfuerzos y deformaciones de las rocas*. Madrid.

Rojas, R. D. (2018). *Diagnóstico de conflicto socioambiental por uso del suelo para escombrera en el barrio los Colores de Medellín*. Medellín : Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2010). *Ciencias de la Tierra. Una Introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación S. A.

11. Anexos

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor.

Anexo 2. Mapa Geológico del Distrito de Zamora

Anexo 3. Mapa Geológico Regional

Anexo 4. Mapa Geológico de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor

Anexo 5. Mapa Topográfico de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor

Anexo 6. Mapa de Pendientes de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor

Anexo 7. Mapa de la Red Hídrica de la Asociación Minera de Hecho Cordillera del Cóndor

(Ubicado en el CD-R N° 1)

Anexo 8. Fichas de Información de Campo - Descripción del Afloramiento

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 1		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	11/06/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746774	DATUM	
	Norte	9544484	UTM_WGS-84	
	Altura	2689		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	5.10 m de ancho
	222°	46°		8.15 m de altura
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>La litología corresponde a intercalaciones de skarn con brechas volcánicas muy alteradas de color amarillento a anaranjado. La textura de skarn con un grado de oxidación alto. Existe la presencia de una falla con azimut de 178 con detritos de brechas meteorizados.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 2		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	11/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746978	DATUM	
	Norte	9544166	UTM_WGS-84	
	Altura	2589		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	-
	174°	75°		-
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>El afloramiento se constituye de lavas andesíticas basálticas de origen volcánica. La roca presenta una coloración gris verdoso oscura, textura afanítica, constituidos de minerales de feldespato, plagioclasas, piroxenos, cuarzo y olivino. La roca se encuentra altamente alterado por los agentes exógenos y a su vez existiendo una gran humedad. La estructura del afloramiento es masiva.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 3		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	11/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746908	DATUM	
	Norte	9544330	UTM_WGS-84	
	Altura	2652		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	6 m ancho
	112°	63°		3.10 de alto
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>El afloramiento presenta una textura granular con colores claros. Se encuentra parcialmente fracturado y las aberturas son rellenas de material tipo limonítico, oxidaciones de color anaranjado</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 4		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	11/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746867	DATUM	
	Norte	9544519	UTM_WGS-84	
	Altura	2596		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	-
	59°	70°		-
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>La litología de este afloramiento lo compone andesíticas basálticas de origen volcánica, este presenta una coloración gris oscura, textura afanítica. El afloramiento ha sufrido un desgaste alto por los agentes exógenos, meteorizando y erosionando la roca, depositando los fragmentos de roca degradados.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 4		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746945	DATUM	
	Norte	9544903	UTM_WGS-84	
	Altura	2541		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimet	Buzamiento	Dimensiones (m)	10.4 m ancho
	89°	74°		2.72 m de alto
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>La litología la constituye andesitas basálticas de origen volcánico, con una alta meteorización química y física, la coloración es gris oscuro debido a los óxidos existentes. Se constituye plagioclasa, hornblenda, piroxeno. La vegetación es escasa, y se observa material alterado en un grado alto.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 6		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	745824	DATUM	
	Norte	9544660	UTM_WGS-84	
	Altura	2565		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	9 m de ancho
	66°	12°		3.19 m de altura
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>El afloramiento está compuesto por brecha volcánica que es un material volcánico de formación temprana consolidado. Está constituido por derrubios volcánicos, es decir posee una matriz tobácea, con tamaños de 2 cm a 6 cm.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 7		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	747046	DATUM	
	Norte	9544816	UTM_WGS-84	
	Altura	2435		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	-
	35°	36°		-
TIPO	Artificial			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>La litología la constituye la andesita basáltica es una roca ígnea de grano fino, es decir afanítico. En este afloramiento se puede evidenciar un alto grado de meteorización química y física, donde en su parte inferior se ha depositado material coluvial producto de la erosión.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 8		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	747072	DATUM	
	Norte	9544373	UTM_WGS-84	
	Altura	2567		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	-
	301°	78°		-
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>La litología se constituye de Tobas andesíticas compactas de color gris verdoso, con textura piroclástica. Existe vegetación herbácea, evitando la meteorización y la alteración por agentes exógenos.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 9		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746913	DATUM	
	Norte	9544417	UTM_WGS-84	
	Altura	2621		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
		x		
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	-
	239°	39°		-
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>Este afloramiento corresponde Tobas andesíticas compactadas de color gris verdoso de origen volcánico. Tiene un alto grado de humedad y cubierta por una espesa capa vegetal de hierbas.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 10		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	7466876	DATUM	
	Norte	9544476	UTM_WGS-84	
	Altura	2614		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	7.12 m de ancho
	46°	78°		4.75 m de altura
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>Este tipo de roca se encuentra altamente fracturado y meteorizado, presentando lineamientos principales de fracturas en dirección Norte-Sur, con una humedad media. Litológicamente está compuesto por tobas andesíticas, cuyo ambiente es formado por la erupción volcánica. La roca presenta una coloración gris verdoso oscura y de textura porfirítica.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 11		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746738	DATUM	
	Norte	9544721	UTM_WGS-84	
	Altura	2581		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	7.12 m de ancho
	46°	50°		4.75 m de altura
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>Estructuralmente se encuentra fracturado, y sus fracturas están rellenas de óxidos, existiendo una alta meteorización química y física, con una coloración de gris oscura. La vegetación es escasa, y se observa material erosionado en la parte inferior del afloramiento.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 12		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746971	DATUM	
	Norte	9544984	UTM_WGS-84	
	Altura	2419		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	7.12 m de ancho
	226°	35°		4.75 m de altura
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>Existe la disposición de Andesita basáltica, estructuralmente fracturado, meteorizado y erosionado. En la parte inferior se deposita material Coluvial producto de la meteorización de las partes altas, los fragmentos de roca son de tamaños variados 2-10 cm.</p>				

FICHA DE INFORMACIÓN DE CAMPO DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS				
1. INFORMACIÓN GENERAL				
CÓDIGO	AF - CT - 13		UBICACIÓN	
RESPONSABLE	Carlos Toledo Encalada		Provincia	Zamora Chinchipe
FECHA	12/04/2021		Cantón	Nangaritza
VÍAS DE ACCESO	Tercer orden		Parroquia	Guayzimi
2. INFORMACIÓN DE UBICACIÓN				
COORDENADAS	Este	746971	DATUM	
	Norte	9544984	UTM_WGS-84	
	Altura	22419		
3. ASPECTOS GEOLÓGICO				
GRADO DE ALTERACIÓN	Alta	Media	Baja	Nula
	X			
LITOLOGÍA	Ígnea	Metamórfica	Sedimentaria	Otro
	X			
ELEMENTOS YACENCIA	Azimut	Buzamiento	Dimensiones (m)	6.44 m de ancho
	345°	46°		3.72 m de altura
TIPO	Natural			
4. DESCRIPCIÓN		5. FOTOGRAFÍA		
<p>Litológicamente el afloramiento lo constituye andesíticas basálticas de origen volcánica. La roca presenta textura afanítica y con una coloración gris verdoso oscura. La vegetación es escasa, en donde existe meteorización y erosión. donde el material es depositado en la parte inferior del afloramiento.</p>				

Anexo 9. Protocolo de Método de Ensayo Estándar para Resistencia de Compresión No Confinada de Especímenes de Roca Intacto

1. Alcance

1.1. Este método de ensayo especifica el aparato, instrumentación, y procedimientos para determinar la resistencia compresiva no confinada de especímenes de roca intactos.

1.2. Los valores establecidos en unidades de Kg/cm^2 se deben considerar como el estándar.

2. Resumen del Método de Ensayo

Se corta una muestra de testigo de roca a lo largo y los extremos se pulen para que queden planos. Se pone el espécimen en el marco de carga y, si se requiere, se calienta a la temperatura de ensayo deseada. Se aumenta de manera continua la carga axial en el espécimen hasta que se obtenga la carga y la falla.

3. Importancia y Usos

La resistencia de compresión no confinada se usa en muchas fórmulas de diseño y a veces se usa como una propiedad de índice para seleccionar la técnica de excavación apropiada.

La resistencia de los testigos de roca medida en el laboratorio usualmente no refleja de manera exacta las propiedades *in situ* a gran escala porque éstas últimas están muy influenciadas por uniones, fallas, irregularidades, planos de debilidad y otros factores. Por lo tanto, los valores de laboratorio para especímenes intactos se deben emplear con el criterio apropiado.

4. Aparato y Equipos

4.1. Dispositivo de carga: conformado por una prensa para rotura de las probetas, de velocidad controlada manual o mecánicamente, con capacidad suficiente para llegar a la carga de rotura. El dispositivo de medida de la fuerza aplicada debe tener una sensibilidad del 1 % de la resistencia a la compresión simple de la muestra ensayada.

4.2.Extractor de muestras: capaz de sacar corazones de suelos; si las muestras llegan al laboratorio en tubos no abiertos longitudinalmente, es preciso que produzca poca alteración en la roca.

5. Moldes para preparar probetas de roca.

5.1.Cronómetro: Se deberá emplear un cronómetro con aproximación al segundo, que indique el tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo, para establecer la velocidad de aplicación del esfuerzo o la deformación.

5.2.Balanzas que den el peso de la muestra con una precisión del 0.1 % de su peso total.

6. Precauciones de seguridad

Muchos tipos de roca fallan de manera violenta cuando se cargan para que fallen en compresión. Se debe poner un escudo protector alrededor del espécimen de ensayo para evitar las lesiones producto de fragmentos de roca que puedan salir volando.

7. Muestreo

El espécimen debe ser seleccionado de los testigos para representar un promedio válido del tipo de roca que se está considerando. Esto se puede lograr mediante observaciones visuales de los constituyentes minerales, tamaños de grano y forma, separaciones y defectos tales como poros y fisuras.

8. Procedimiento

8.1.Revise la capacidad del asiento esférico para rotar libremente en su soquete antes de cada ensayo.

8.2.Ponga la placa inferior en la base o la varilla actuadora del dispositivo de carga. Limpie las superficies de apoyo de ambas placas y del espécimen de ensayo y ponga el espécimen en la placa inferior. Ponga la placa superior en el espécimen y alinee adecuadamente. Se puede aplicar una pequeña carga axial de aproximadamente 100N

al espécimen por medio del dispositivo de carga para asentar adecuadamente las partes de apoyo del aparato

8.3. Aplique la carga axial en forma continua y sin shock hasta que la carga se vuelva constante, se reduzca o se logre un monto predeterminado de tensión. Aplique la carga de manera tal que se produzca una tasa de estrés o bien un asa de tensión que sea tan constante como posible a lo largo de todo el ensayo

8.4. Registre la carga máxima sostenida por el espécimen.

9. Cálculo

Calcule la resistencia a la compresión en el espécimen de ensayo desde la máxima carga de compresión en el espécimen y el área transversal computada inicialmente de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Resistencia de compresión

P = Carga máxima

A = Área transversal

Anexo 10. Certificado de traducción del resumen del trabajo

Carlos Fernando Velastegui Aguilar
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLÉS

Certifico.-

Que la traducción del documento adjunto por el señor **Carlos Fernando Toledo Encalada** con número de cédula de ciudadanía 1104606759, cuyo tema de investigación se titula **“Diseño Técnico de una escombrera de estériles para la Sociedad Minera de Hecho Cordillera del Cóndor, en el área de concesión Nanguipa, código 501410, ubicada en el sector cerro colorado Nangaritzta, provincia de Zamora Chinchipe”**, ha sido realizado por mi persona en calidad de licenciado en pedagogía del idioma inglés.

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.



Carlos Fernando Velastegui Aguilar
Licenciado De Inglés
C.I: 1105165672
Número de registro: 1031-2022-2463645