

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO Y
ESTABILIDAD DEL BOTADERO DE DESMONTES 3 DEL
PROYECTO MINERO LAS ÁGUILAS**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

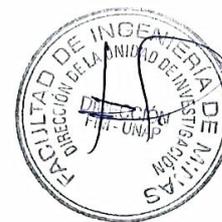
BACH. MARCO ANTONIO MAMANI CANDIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL BOTADERO DE
DESMONTES 3 DEL PROYECTO MINERO LAS ÁGUILAS

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:

BACH. MARCO ANTONIO MAMANI CANDIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR:

PRESIDENTE

: 
Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

PRIMER MIEMBRO

: 
Ing. DAVID VELASQUEZ MEDINA

SEGUNDO MIEMBRO

: 
MSc. Ing. LUCIO QUEA GUTIERREZ

TEMA: Mecánica de Rocas, Geomecánica y Geotecnia

ÁREA: Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de Noviembre del 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado con profundo amor y eterna gratitud y agradecimiento a mis queridos padres Rogelio y Rufina, por darme su ejemplo de lucha constante, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación, ofreciéndome su apoyo desmedido y constante en todo momento durante el transcurso de mi existencia.

A mi hermano Dennys por ser mi mayor motivación de superación en mi desarrollo profesional; a mi familia más cercana y a Magui por sus palabras alentadoras en todo momento para conseguir y lograr mis objetivos; a mi entrañable abuelo Damián que desde el cielo guía mi carrera profesional y mi vida personal.

Marco Antonio Mamani Candia

ÍNDICE GENERAL

Resumen	7
Abstract	7
1. Introducción	8
2. Materiales y métodos	11
2.1. Metodología	11
2.2. Ubicación y acceso	11
3. Resultados y discusión	12
3.1. Geología	12
3.1.1. Geomorfología	12
3.1.2. Geología	13
3.1.3. Geodinámica	13
3.2. Hidrogeología e hidrología	14
3.2.1. Hidrogeología	14
3.2.2. Hidrología	14
3.3. Aspectos sísmicos	17
3.3.1. Zonificación sísmica	17
3.3.2. Intensidad	18
3.4. Investigación geotécnica	19
3.4.1. Investigaciones geotécnicas de campo	19
3.4.2. Ensayos de laboratorio	19
3.4.3. Análisis de estabilidad física	21
3.4.4. Análisis de estabilidad química	22
3.5. Obras para la construcción del depósito de desmonte	23
3.5.1. Especificaciones técnicas para la construcción del depósito de desmontes 3	24
3.5.2. Habilitación del área del suelo de cimentación	24
3.5.3. Colocación de la capa de impermeabilización y despliegue de geomembrana	24
3.5.4. Sistema de drenaje	25
3.5.5. Sistema de subdrenaje	26
3.5.6. Puntos de monitoreo de aguas	26
3.5.7. Vida útil del depósito de desmontes 3	26
3.6. Programa de monitoreo	26
4. Conclusiones	27
Agradecimientos	28
Referencias bibliográficas	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación del botadero de desmorte	12
Tabla 2. Ubicación de la concesión ÁGUILA NUEVA 1	12
Tabla 3. Estaciones pluviométricas analizadas	15
Tabla 4. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Llally.....	15
Tabla 5. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Lampa	15
Tabla 6. Distribución Pearson tipo III - precipitación máxima en 24 horas (mm).....	16
Tabla 7. Coeficiente de escorrentía C - Método Racional.....	16
Tabla 8. Estación Llally	17
Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (mm).....	17
Tabla 10. Resumen de calicatas y trincheras.....	19
Tabla 11. Resumen de resultados de laboratorio.....	19
Tabla 12. Resumen de los parámetros de resistencia	20
Tabla 13. Resumen de los parámetros de resistencia	20
Tabla 14. Capacidad admisible por asentamiento	21
Tabla 15. Resumen de parámetros de resistencia.....	21
Tabla 16. Resumen de resultados de análisis de estabilidad de taludes del botadero 3	22
Tabla 17. Potencial neto de neutralización del desmorte	23
Tabla 18. Resultados de los análisis de PNN	23
Tabla 19. Características de diseño del depósito de desmorte 3 por construir	23
Tabla 20. Características de corte para la extracción del material de cobertura	24
Tabla 21. Dimensión de los canales de coronación.....	25
Tabla 22. Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno	25
Tabla 23. Ubicación de las pozas colectoras	26
Tabla 24. Ubicación de puntos de monitoreo de efluentes.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Apertura de calicata para muestreo de suelos	11
Figura 2. Extracción de muestra 01 de suelo.....	11
Figura 3. Ubicación geográfica del proyecto Las Águilas	12
Figura 4. Ubicación del botadero de desmontes 3, campamento del proyecto y comunidad.....	12
Figura 5. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Llally	15
Figura 6. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Lampa.....	16
Figura 7. Ubicación de la zona de estudio según el mapa de zonificación sísmica del Perú	18
Figura 8. Ubicación de la zona de estudio según el mapa de isoaceleraciones del Perú.....	18
Figura 9. Resumen de cálculos de la capacidad admisible de carga	20
Figura 10. Resumen de cálculos del asentamiento por carga.....	21
Figura 11. Análisis de estabilidad estático del depósito de desmonte 3 ($\alpha = 0.0$).....	22
Figura 12. Análisis de estabilidad pseudo-estático del depósito de desmonte 3 ($\alpha = 0.16$).....	22
Figura 13. Ubicación del botadero de desmontes 3 en el proyecto minero Las Águilas.....	24
Figura 14. Cálculo de tirante normal - sección rectangular	25

Estudio Geotécnico para el Diseño y Estabilidad del Botadero de Desmontes 3 del Proyecto Minero LAS ÁGUILAS

Geotechnical Study for the Design and Stability of Waste Dump 3 of the LAS ÁGUILAS Mining Project

Marco Antonio, Mamani-Candia

Faculta de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno, Perú.

markmine95@gmail.com, 957041564.

Resumen

En el presente estudio para el diseño y estabilidad del depósito de desmonte 3 del proyecto Las Águilas de la empresa minera Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, ubicado en el paraje Koripuna, distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, en el año 2017, se realizó una evaluación en campo, con el objetivo de determinar los parámetros geotécnicos de los materiales del terreno de cimentación, las propiedades físico-mecánicas y químicas del material de desmonte; evaluando la condición de la estabilidad física, química e hidrológica del Botadero, para luego proyectar obras de estabilización, y diseñar las obras de drenaje de aguas superficiales y sub-superficiales. Dichas evaluaciones se realizaron mediante métodos de calas y apertura de zanjas manualmente para la toma de muestras, utilizando materiales como picos, palas, bolsas de muestras, GPS, libretas de campo y otros. Con los resultados de las evaluaciones se determinaron la configuración de los taludes del depósito de desmonte que permitirá garantizar su estabilidad física y química, concluyendo que el factor de seguridad estática y pseudo-estática son 3,494 y 2,394 respectivamente, que indica que es estable; y de acuerdo al balance de minerales neutralizantes y sulfuros, se tiene un PNN de 72,59 y PN/PA de 34,18 que indica que no genera drenaje ácido. Concluida la evaluación geotécnica y ambiental del área propuesta, se ha diseñado los criterios de construcción, considerando las condiciones geotécnicas y la capacidad requerida por planeamiento de mina para garantizar la operación minera durante la vida de la mina y posterior a ello.

Palabras claves: diseño; parámetros; estabilidad; desmonte; drenaje.

Abstract

In the present study for the design and stability of clearance deposit 3 of the Las Águilas project of the mining company Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, located in the Koripuna site, district of Ocuwiri, province of Lampa, in the year 2017, a field evaluation was carried out, with the objective of determining the geotechnical parameters of the materials of the foundation ground, the physical-mechanical and chemical properties of the clearing material; evaluating the condition of the physical, chemical and hydrological stability of the dump, to then project stabilization works, and design the drainage works of surface and sub-surface waters. These evaluations were carried out by means of coves and trenches manually to take

samples, using materials such as picks, shovels, sample bags, GPS, field notebooks and others. With the results of the evaluations, the configuration of the slopes of the clearing deposit was determined that will guarantee its physical and chemical stability, concluding that the static and pseudo-static safety factors are 3,494 and 2,394 respectively, which indicates that it is stable; and according to the balance of neutralizing minerals and sulfides, there is a PNN of 72,59 and PN/PA of 34,18 which indicates that it does not generate acid drainage. Once the geotechnical and environmental evaluation of the proposed area is concluded, the construction criteria have been designed, considering the geotechnical conditions and the capacity required by mine planning to guarantee the mining operation during the life of the mine and thereafter.

Keywords: design; parameters; stability; clearing; drainage.

1. Introducción

Los botaderos son estructuras masivas de material estéril o con un contenido mineral muy bajo producto de las operaciones de explotación minera de operaciones subterráneas o a tajo abierto, que se acumulan sobre fundaciones, en forma de montones de material o arrimadas a taludes naturales. Los botaderos se construyen vertiendo los materiales estériles desde camiones en los bordes de estas estructuras o en otros casos por la descarga del material sin valor a las plataformas para su posterior empuje con maquinaria adecuada. Estas grandes estructuras y sus inestabilidades, han dado lugar a una fuerte preocupación de parte de los organismos gubernamentales que han orientado sus esfuerzos a minimizar y controlar los impactos ambientales y los riesgos de seguridad tanto para el personal, equipos e infraestructura involucrada.

Por lo tanto el material estéril extraído de mina del proyecto Las Águilas, debe ser dispuesto en un lugar específico y adecuado para este fin, por lo que tendremos que definir las características de este lugar (botadero 3), lo cual debe ser geológica y geotécnicamente apto para ello (tomando en consideración los aspectos físicos, hidrológicos y químicos que garanticen su estabilidad a lo largo del proyecto minero y posterior a ello), ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar siniestros geomecánicos en el sector mismo

(hundimiento) o en sectores aledaños (distribución de esfuerzos). La utilización del sector elegido no debe significar un daño ambiental real o potencial (generación de drenajes ácidos al entorno).

La hidrología e hidrogeología, como ciencia, se ocupa del estudio del ciclo del agua en la naturaleza y sus cambios de estado del agua a nivel superficial y subterráneo. La hidrología está relacionada con otras ciencias como la meteorología, la climatología, la geografía, la geología, la mecánica de suelos, la estadística matemática, etc. Uno de sus principales fines es el análisis del caudal de las corrientes de agua, este caudal puede ser medio o extremo (crecidas y estiajes) según la finalidad de su empleo. (Remenieras, 1968).

Debido a la topografía abrupta que presenta gran parte del Perú y a la correspondiente falta de áreas planas para la construcción de botaderos de desmonte, muchos de estos están ubicados adyacentes a los ríos, corrientes o lagos. Dichas ubicaciones presentan aspectos particulares de diseño, influenciadas por las condiciones hidrológicas de la zona. (Paucar-Conce, 2015). Por ello para el diseño de botaderos de desmonte, consideramos la evaluación hidrológica empleando eventos de avenidas extremas. (Rennat & Miller, 1997).

De acuerdo a que, la inestabilidad general de un talud tiene lugar por un aumento en el contenido de

agua, produciendo un mayor esfuerzo cortante. Las propiedades resistentes pueden mejorarse mediante una reducción de su contenido de humedad. (Paucar-Conce, 2015).

Por ello para determinar el comportamiento del agua en el depósito de desmonte 3 se ha realizado el análisis y estudio hidrológico y así determinar el régimen pluvial en las zonas de emplazamiento del depósito de desmonte y las quebradas que inciden en ella, para el cálculo de los caudales de diseño de las obras de drenaje.

El Perú es considerado como una de las regiones de más alta actividad sísmicas. Forma parte del cinturón de fuego del Pacífico, según estas consideraciones es necesario considerar la influencia del efecto sísmico sobre la estabilidad de taludes del depósito de desmonte del proyecto. En la construcción de grandes estructuras y edificaciones, dentro del territorio peruano se ha establecido, según la norma peruana E030 para el diseño sísmico resistente cuatro (04) zonas con valores de Z que oscilan entre (0.10 - 0.45) g, donde “g” es la aceleración de la gravedad. Según el Nuevo Reglamento Nacional de Edificaciones (2016). De acuerdo con la literatura técnica existente y aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudo-estática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. (Hynes-Griffin & Franklin, 1984).

Los estudios geológicos, geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables. La metodología seguida en los

estudios de estabilidad de taludes parte del conocimiento geológico, hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo. (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002).

Se tiene que obtener toda la información posible sobre las características geológicas, geotécnicas, topográficas y ambientales que permitan realizar una descripción de los problemas y un proponer un diseño efectivo de solución. Para una investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad. (Suarez-Diaz, 1998). Un aspecto del estudio de estabilidad de un talud que se debe de tener en cuenta y resolver al principio, en cuanto se dispone de los datos de la investigación geológico geotécnica, es el modo de falla más probable que puede producirse en dicho talud o ladera, para estudiar su estabilidad. (Ramírez-Oyangure & Alejano-Monge, 2007).

Los factores de seguridad estático y pseudo-estático, de acuerdo al planteamiento establecido en el Ministerio de Energía y Minas del Perú, está en una relación de 1,5 a 1,3 respectivamente, considerando un sismo máximo con un periodo de retorno de 100 años. (Centeno-Pila, 2018).

El diseño geométrico de un depósito de desmonte se realiza considerando la información obtenida en los ensayos in situ y de laboratorio, el análisis teórico y la modelización numérica. (Villanueva, Lino, & Huaña, 2017). El cálculo del volumen a utilizar en los botaderos, se realiza con el fin de estimar el espacio físico necesario para la adecuada disposición del material estéril, de modo que podamos definir el lugar o lugares donde se dispondrán dicho material. En función de la necesidad y considerando los aspectos económicos involucrados (costos en el transporte, distancia), discriminación entre estéril con leyes de fino interesantes (es decir potencialmente explotables), tipo de material (oxidado, sulfurado, suelo) y su potencial, uso futuro o su potencial efecto sobre el medio ambiente,

características de los sectores disponibles para el depósito de estéril, proceso del mineral principal extraído, se obtendrá como resultado la disponibilidad y ubicación de los sectores para la disposición de estos materiales. (Ortiz-Chambi, 2016).

Actualmente, existe una infinidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes. Como es el caso del software SLIDE versión 6.0 distribuido por la empresa Rocscience. El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías. Se pueden analizar tanto suelos como rocas. Por otro lado, se puede seleccionar entre diversos métodos de análisis, tales como: Fellenius, Bishop simplificado, Janbu generalizado y corregido, entre otros. (Mendoza-Loayza, 2016).

Por lo tanto los estudios geotécnicos mediante exploraciones de campo tienen como finalidad evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento de los depósitos de desmonte, asimismo permiten la verificación de la estabilidad de los taludes, mediante el análisis del factor de seguridad. Para tal fin en el proyecto se ha llevado a cabo un programa de investigaciones geotécnicas por medio de trinchera así como la ejecución de ensayos de densidad de campo in-situ y extracción de muestras de suelo y roca para ser ensayadas en el laboratorio, para posteriormente procesarlas y establecer los resultados requeridos para el diseño y la estabilidad de taludes del botadero 3.

En la construcción de botaderos de diferentes proyectos mineros, es importante considerar el tipo de mineral que se extrae. El control de las aguas ácidas es un aspecto muy importante en aquellas minas donde existan sulfuros. Las aguas ácidas presentan diferentes inconvenientes referentes a los efluentes provenientes de los pasivos ambientales, como el impacto sobre la calidad del agua superficial

y subterránea, que limita su reutilización y producen contaminación, impacto sobre la vida vegetal y animal del entorno, y dificultades en el cierre de mina en la revegetación y estabilidad de los taludes. (Vilca-Arredondo, 2019).

La capacidad de generación ácida, se determina a partir de su contenido de azufre como sulfuro y se denomina Potencial Ácido (PA). La capacidad para neutralizar se expresa a través del Potencial Neutralizante (PN) y se determina a través del contenido mineralógico que consumen ácido. (Samaniego, Felix, & Villanueva, 2010). Para ello, el test ABA es uno de los ensayos geoquímicos más utilizados como elemento predictor del potencial de generación de drenaje ácido de roca, (Sobek.1978).

El test ABA consiste en establecer el potencial de generación de ácido (PA) y el potencial de neutralización (PN) de una determinada muestra para finalmente, en función de ambos, PA y PN, determinar el potencial neto de neutralización (NNP) y el ratio PN/PA. Ambos resultados pueden ser comparados con valores referenciales, con el objeto de clasificar las muestras como potenciales o no potenciales generadoras de drenaje ácido. (Samaniego et al., 2010).

Por ello, para predecir las posibilidades de generación de drenaje ácido del material de desmonte que se generaría como resultado de la explotación minera se ha tomado muestras representativas de la zona. Las pruebas de Balance Ácido Base (método EPA-6000/2-78-057) se realizaron en el Laboratorio INSPECTORATE, lo cual ha permitido la caracterización de los materiales referidos a la interpretación de las pruebas por el método de Determinación de Potencial de Neutralización y ABA.

Así, el objetivo del presente estudio es diseñar 01 depósito de desmonte que se generará producto de la explotación minera, evaluando las características geotécnicas del terreno de cimentación y las

propiedades físico-mecánicas del material de desmonte que conformaran los taludes proyectados, asimismo evaluando la condición de la estabilidad física, química e hidrológica del botadero, para luego proyectar obras de estabilización, y de igual forma diseñar las obras de drenaje de las aguas superficiales y sub-superficiales.

2. Materiales y métodos

2.1. Metodología

Trabajo de campo: Para la evaluación del área en el cual se proyecta construir el Botadero 3, en la verificación in-situ de las condiciones del área, se utilizaron diferentes materiales como: picos, palas, cajas, ceras, aserrín, bolsas de muestras superficiales, GPS, libretas de campo y otros. El trabajo de campo comprendió la evaluación geotécnica para determinar las características físico-mecánicas de la cimentación y del material de desmonte, empleando diversos métodos de investigación de campo como el método de calas o calicatas y apertura de zanjas en forma de trincheras. Se realizaron excavaciones de trincheras y calicatas con pico y pala con la finalidad de evaluar las características del suelo y el material de desmonte in-situ. Así mismo se tomaron las correspondientes muestras en diferentes cajas y bolsas especializadas para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos y químicos.

Trabajo de gabinete: Comprendió la recopilación y clasificación sistemática de la información de campo, evaluación de los resultados de los ensayos geotécnicos y análisis físico-químicos de los materiales del desmonte, diseño de las obras de ingeniería y elaboración de los planos de diseño con especificaciones técnicas para la construcción del depósito de desmonte. Para ello se utilizaron libretas para la clasificación y evaluación de datos y

laptops con diferentes programas de procesamiento de datos para la determinación de diseños y resultados como: Ms. Excel, AutoCAD Civil 3D, Silde Vs. 6.0.



Figura 1. Apertura de calicata para muestreo de suelos
Fuente: Elaboración propia.



Figura 2. Extracción de muestra 01 de suelo
Elaboración: Propia.

Tipo y nivel de investigación: Consideramos a la presente investigación de tipo Cuantitativo No Experimental, porque se usará datos cuantitativos ya existentes (Ensayos) los cuales no se podrán manipular o modificar, de nivel correlacional ya que las variables de tendrán relación entre sí.

2.2. Ubicación y acceso

El proyecto minero Las Águilas donde se encuentra el Botadero de Desmontes 3, se encuentra emplazado dentro la concesión minera ÁGUILA NUEVA 1, ubicado en el paraje denominado Koriupuna, distrito de Ocuvirí, provincia de Lampa en

el departamento de Puno, aproximadamente a 14 kilómetros al SE del poblado de Ocuvi.

Tabla 1. Ubicación del botadero de desmorte

Componente	Coordenadas UTM - WGS 84	
	Norte	Este
Depósito de desmorte 3	8330869	309675

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Tabla 2. Ubicación de la concesión ÁGUILA NUEVA 1

Vértices	Coordenadas UTM - WGS 84	
	Norte	Este
1	8332623.56	309812.55
2	8332623.56	311812.53
3	8331623.55	311812.54
4	8331623.55	310812.55
5	8330623.55	310812.56
6	8330623.55	308812.58
7	8331623.56	308812.57
8	8331623.55	309812.56

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Desde Lima se accede hacia la ciudad de Juliaca vía Aérea en un recorrido de 560 km en un tiempo de aproximadamente 2 horas, desde Juliaca la vía más corta es; Juliaca - Ayaviri 104 km. (Vía asfaltada), Ayaviri - Umachiri - Llally - Ccaycho 48.5 km. (Vía afirmada), Ccaycho - Las Águilas 10 km. (Vía afirmada).



Figura 3. Ubicación geográfica del proyecto Las Águilas
Elaboración: Propia.



Figura 4. Ubicación del botadero de desmontes 3, campamento del proyecto y comunidad
Elaboración: Propia.

3. Resultados y discusión

3.1. Geología

Para el presente estudio geotécnico del Botadero de desmontes 3 del proyecto Las Águilas, para la descripción de los resultados de las características geológicas se ha considerado como información geológica base el cuadrángulo de Ocuvi (31-u), hoja del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como se encuentran detallado en los siguientes ítems de geomorfología, geología local y geodinámica.

3.1.1. Geomorfología

Morfológicamente el área de estudio de la zona del botadero ha sido modelada por efectos degradatorios, como los agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas por estructuras rocosas. Entre los agentes de meteorización que han jugado un rol importante en el modelado del área se encuentran la glaciación, la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea. Las unidades geomorfológicas del área de estudio han sido delimitadas considerando criterios geográficos, morfoestructurales y litológicos, regionalmente se ubica en una

peniplanicie andina (Altiplano) con un relieve cordillerano, conformada por cerros, lomadas y valles en U.

3.1.2. Geología

En el proyecto Las Águilas donde se ubica el Botadero de desmonte 3, el basamento rocoso pertenece al grupo Tacaza regionalmente es consistente en una serie de derrames lávicos, brechas de flujo, aglomerados y tobas, a veces brechoides de composición andesitita-dacítica y en menor proporción riolítica y/o dacítica.

Las unidades rocosas reconocidas en el área son las siguientes:

Grupo Tacaza (T-Ta): El grupo Tacaza es una secuencia constituida por depósitos de ambiente lagunar y derrames volcánicos de naturaleza lávica, piroclástica y aglomerádica de edades del Terciario medio a superior. Sin embargo, localmente se emplazan volcánicos andesíticos en general gris verdosa con fenocristales blanquecinos feldespáticos donde en algunos lugares la meteorización le da apariencia rojiza oscura por la descomposición de los minerales ferro magnesianos. Con el desarrollo de los niveles 4369 y 4330 se ha determinado una secuencia de un conglomerado sub-volcánico pobremente clasificado con clastos y granos subredondeados de andesita de 30 hasta 40 cm. en matriz de fragmentos de roca y arena de cuarzo y feldespato, calcita y arcilla, moderadamente compactadas, característica típica de depositación en ambiente sub-acuático de poca profundidad. Las partes superiores con respecto a Úrsula son una secuencia de flujos de lavas visiblemente estratificados y que dan la apariencia de posible domamiento volcánico cuyo centro de influencia aparentemente está erosionado y se ubica aproximadamente entre Úrsula y la zona de San Cristóbal.

Depósitos morrénicos (Q - mo): Constituidos por fragmentos de rocas volcánicas del grupo Tacaza de diferente clasificación granulométrica y que se encuentran depositadas en las laderas de los cerros con moderada pendiente y también como cobertura de la veta Úrsula, de manera que el nivel 4369 en su desarrollo hacia el norte llega a cortarlo por debajo de los 5 a 10 metros de la superficie, a manera de un pequeño “valle glaciar”.

Depósitos aluviales (Q - al): Estos depósitos están constituidos por acumulaciones de gravas y arenas y limos de diferente granulometría en la cuenca del río Chaquilla y en las quebradas de los tributarios del drenaje ya descrito. La clasificación de estos depósitos es pobre de modo tal que no existen secuencias uniformes, más bien heterogéneas como se observa en el corte del lecho del río Chaquilla.

3.1.3. Geodinámica

3.1.3.1. Geodinámica externa

Fenómenos gravitacionales: Dentro de estos se consideran la remoción de masas sin saturación de suelos, cuyos procesos geodinámicas son de deslizamientos y desprendimientos, los cuales no se han observado en el área del proyecto, el grado de susceptibilidad y afectación a las actividades mineras es nula o inexistente.

Fenómenos hidrogravitacionales: Dentro de estos se consideran la remoción de masas producto de la saturación de suelos, lo cuales pueden producir zonas de erosión fluvial, fluvioaluvial y fluvioglaciario, que involucran al agua como factor desencadenante. Los principales procesos de Geodinámica externa son.

Erosión fluvial; dentro de los componentes del proyecto no se aprecian áreas propensas a erosión

fluvial, esto debido a la topografía plana y ondulada, el grado de susceptibilidad es nula o inexistente.

Fenómenos hidrodinámicos; que podrían ocurrir siempre y cuando existan embalsamientos naturales de lagos y lagunas, producto de la desembocadura de ríos, los mismos que no existen en el área de estudio, siendo el grado de susceptibilidad y afectación nula o inexistente.

3.1.3.1. Geodinámica interna

Riesgo sísmico: Las áreas donde se emplazara el depósito de desmonte se encuentra ubicado en la Zona 2, del Mapa de Regionalización Sísmica del Perú que está determinada por presentar moderada a alta sismicidad (Instituto Geofísico del Perú).

Sismotectónica: De acuerdo al mapa de regionalización sismotectónica, la zona de estudio se ubica en: Zona 2, intensidades iguales o mayores que VII grados en la escala modificada de Mercally, sismos asociados a fallamiento superficial con profundidades < 20 Km.

Para fines de diseño se debe considerar el valor de máxima intensidad indicado. Se concluye que la zona es considerada de Riesgo Geodinámico MODERADO.

3.2. Hidrogeología e hidrología

3.2.1. Hidrogeología

En la parte superior adyacente a las quebradas Lloque y Sequeña que desemboca sus aguas en el río Chaquella, donde se emplaza el Botadero de Desmontes 3, está tapizado por rocas volcánicas del grupo tacaza depositados en laderas de los cerros y más abajo de estos y más alejado de la zona del botadero se encuentra depósitos aluviales conformados por una secuencia intercalada de gravas arcillosas y gravas limosas con lentes de gravas mal

graduadas limosas (GP-GM). Estos depósitos aluviales están cubiertos por una capa orgánica de 0.30 a 0.50 m de espesor, ocasionalmente llega a tener 1.00 a 1.20 m de espesor. La existencia del nivel freático es nula, bajo el emplazamiento del Botadero de Desmontes 3, conforme a ello no se han identificado zonas húmedas a medio talud aguas arriba, que presenten afloramientos de agua al pie del talud del botadero.

En el análisis hidrogeológico, considerando que el Botadero de Desmontes 3 será una estructura superficial con una su base de cimentación que impedirá la afectación en el comportamiento de las aguas subterráneas; el cual será construido con la excavación y remoción del material orgánico superficial, con posterior compactado y colocado secuencialmente con capa impermeable de material arcilloso, geomembrana, posterior a ello la instalación del sistema de subdrenaje, y finalmente una capa de 0.20m. de material semi-impermeable para cubrir el sistema de subdrenaje y la geomembrana. Sumado a ello en la zona donde se construirá el botadero no existe presencia de nivel freático en proximidades a la superficie, como se verifico en los muestreos de la calicata realizada. Por lo tanto la hidrogeología no tendrá mucha influencia y afectación en el diseño del Botadero 3.

3.2.2. Hidrología

El análisis hidrológico en la zona de emplazamiento del Botadero de Desmontes 3 del proyecto Las Águilas tiene por objetivo determinar el régimen pluvial, para el cálculo de los caudales de diseño de las obras de drenaje y subdrenaje, ante condiciones de precipitaciones máximas. El estudio hidrológico consistió en estimar las descargas máximas a partir de un análisis de frecuencias de la precipitación máxima en 24 horas registradas en las estaciones pluviométricas ubicadas en áreas

adyacentes a la zona del proyecto. Con la evaluación hidrológica, se desarrollará la ingeniería de las estructuras de drenaje y subdrenaje que asegurarán la estabilidad hidrológica del depósito de desmonte.

3.2.2.1. Precipitación pluvial

El régimen estacional de precipitaciones está claramente diferenciado en dos periodos distintos del año (estación lluviosa y estación seca). Para fines del presente estudio se han considerado la información pluviométrica local disponible a fin de encontrar los valores de la precipitación diaria y mensual del área de emplazamiento del futuro depósito de desmonte. En la siguiente tabla presentamos la ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas para el presente estudio.

Tabla 3. Estaciones pluviométricas analizadas

Estación	Coordenadas UTM-WGS84		Altitud (msnm)	Período de registro
	Este	Norte		
Llally	297237.90	8302101.41	4190	1994-2009
Lampa	353109.83	8347795.08	3900	1994-2009

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

3.2.2.2. Análisis de la precipitación

Los resultados del análisis de intensidad-duración-frecuencia, confirman que la zona corresponde a lluvias de moderada intensidad y moderada escorrentía superficial.

3.2.2.3. Precipitación máxima en 24 horas

Para este análisis, se ha tomado en cuenta la información de la estaciones Llally y Lampa, ya que cuenta con datos de precipitaciones máximas en 24 horas para un periodo de registro de 16 años (1994 - 2009). Las precipitaciones máximas en 24 horas de las 2 estaciones, fueron procesadas con las distribuciones teóricas Gumbel, Log N2, Log N3, Gama, Pearson III y Log Pearson Tipo III, comúnmente usadas en estudios hidrológicos.

En las siguientes tablas, se muestran los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas calculadas, para diferentes períodos de retorno, de la estación Llally y estación Lampa.

Tabla 4. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Llally

Tr	P exc = 1/T	Precipitación máxima					
		Gumbel	Log N 2	Log N 3	Gama	Log P III	Pearson III
2	50%	13.4	13.58	13.98	13.63	13.71	13.08
5	20%	15.43	15.51	15.71	15.49	15.54	15.03
10	10%	16.78	16.63	16.82	16.53	16.51	16.51
20	5%	18.07	17.61	17.8	17.42	17.32	18
50	2%	19.74	18.78	18.97	18.46	18.23	19.96
100	1%	20.99	19.61	19.79	19.18	18.83	21.45
200	1%	22.23	20.39	20.57	19.85	19.38	22.95
500	0%	23.88	21.39	21.56	20.68	20.56	24.1
1000	0%	25.12	22.12	22.28	21.27	21.03	24.49

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

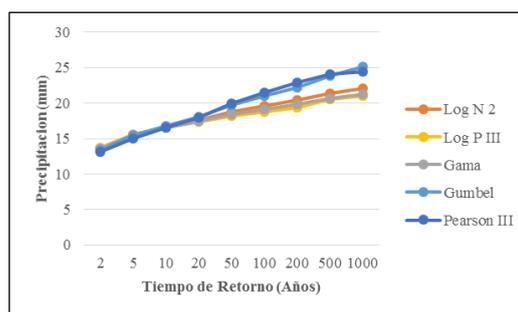


Figura 5. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Llally

Elaboración: Propia.

Tabla 5. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Lampa

Tr	P exc = 1/T	Precipitación máxima					
		Gumbel	Log N 2	Log N 3	Gama	Log P III	Pearson III
2	50%	14.37	14.56	14.97	14.6	14.68	14.04
5	20%	16.39	16.42	16.62	16.46	16.45	15.99
10	10%	17.73	17.48	17.68	17.49	17.37	17.47
20	5%	19.02	18.41	18.6	18.37	18.14	18.95
50	2%	20.69	19.51	19.7	19.39	18.99	20.91
100	1%	21.93	20.28	20.47	20.1	19.55	22.4
200	1%	23.18	21.01	21.2	20.75	20.07	23.89
500	0%	24.82	21.94	22.12	21.57	21.17	25.04
1000	0%	26.06	22.61	22.79	22.16	21.61	25.43

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.



Figura 6. Precipitación máxima en 24 horas (mm) - estación Lampa
Elaboración: Propia.

La distribución teórica de frecuencia que mejor se ajustó a los datos fue la distribución Pearson Tipo III, por presentar menor error cuadrático mínimo, como se muestra en la Tabla N° 04.

Tabla 6. Distribución Pearson tipo III - precipitación máxima en 24 horas (mm)

Periodo de retorno (años)	Estación Llally	Estación Lampa
2	13.08	14.04
5	15.03	15.99
10	16.51	17.47
20	18	18.95
50	19.96	20.91
100	21.45	22.4
200	22.95	23.89
500	24.1	25.04
1000	24.49	25.43

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

La estación de Lampa, muestra valores más altos comparados con los obtenidos en la estación Llally. Sin embargo, la ubicación de Llally tiene mayor similitud en altitud al ámbito donde está ubicado el proyecto minero.

3.2.2.4. Intensidades de lluvia (I)

Las intensidades máximas de precipitación horaria para los periodos de recurrencia correspondientes, fueron generadas a partir de las precipitaciones máximas de 24 horas, en base a la correlación entre ambas variables, cuya expresión

matemática fue establecida por Yance Tueros, se describe a continuación:

$$I_{max} = 0.4602(P_{max.24h})^{0.875}$$

Siendo:

I_{max} = Intensidad máxima horaria (mm/h).

$P_{max.24h}$ = Precipitación máxima en 24 horas.

3.2.2.5. Coeficiente de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía para las condiciones topográficas y de cobertura vegetal está comprendido entre 0.37 y 0.60, según lo descrito en la siguiente tabla:

Tabla 7. Coeficiente de escorrentía C - Método Racional

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas no desarrolladas							
Áreas de cultivos							
Plano 0-2%	0,31	34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente superior a 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales							
Plano 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente superior a 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques							
Plano 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente superior a 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: "Hidrología Aplicada" (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

3.2.2.7. Análisis de máximas avenidas

Se efectuó utilizando el método empírico del método racional, que es usual, práctico y aplicable a la disponibilidad de información pluviométrica consiste en relacionar el área de la Cuenca (A), con un valor de intensidad - duración de precipitación (i), referida a un periodo de retorno adecuado. Para el presente estudio, se ha considerado periodos de retorno entre 2 y 1000 años, siendo el propósito

principal es estimar la “Escorrentía máxima” que pueda presentarse en el punto de evacuación del río principal, para diferentes periodos de recurrencia, según se indica en la fórmula siguiente:

$$Q = (C \cdot i \cdot A) / 360$$

Siendo:

Q = Escorrentía (m³/s).

A = Área de la Cuenca (Ha).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional).

i = Intensidad máxima horaria (mm/h).

Finalmente los valores de las descargas máximas para diferentes tiempos de retorno, estimadas mediante el método racional, se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 8. Estación Llally

T (años)	Pp Max. (mm)	c	I _{max} (mm/h)
2	13.08	0.37	4.36
5	15.03	0.4	4.93
10	16.51	0.42	5.35
20	18	0.44	5.77
50	19.96	0.43	6.32
100	21.45	0.49	6.73
200	22.95	0.57	7.14
500	24.1	0.6	7.45
1000	24.49	0.63	7.56

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Se ha desarrollado el análisis hidrológico, con los datos de precipitación máxima en 24 hr. de la estación de Llally. Se calculó para las microcuencas la mayor área e influencia en los depósitos de desmonte, la máxima precipitación promedio, para periodos de retorno de 2 a 1000 años, los cuales se aproximan volúmenes máximos de escorrentía, los mismos que muestran en la tabla siguiente:

Tabla 9. Precipitación máxima en 24 horas (mm)

Periodo de retorno (años)	Estación Llally
2	0.67
5	0.84
10	0.96
20	1.1
50	1.19
100	1.46
200	1.82
500	2.01
1000	2.14

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.3. Aspectos sísmicos

El Perú es considerado como una de las regiones de más alta actividad sísmicas. Forma parte del cinturón de fuego del Pacífico, según estas consideraciones es necesario considerar la influencia del efecto sísmico sobre la estabilidad de los taludes de los depósitos de desmonte, en el caso del presente estudio para el botadero de desmonte 3 del proyecto Las Águilas.

3.3.1. Zonificación sísmica

Dentro del territorio peruano se ha establecido diversas zonas sísmicas, las cuales presentan diferentes características de acuerdo a la mayor o menor ocurrencia de los sismos. Según la norma peruana E030 para el diseño sismo resistente se describe cuatro (04) zonas con valores de Z que oscilan entre (0.10 - 0.45) g, donde “g” es la aceleración de la gravedad según el Nuevo Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016). Por lo cual el área del botadero de desmonte 3 se encuentra comprendida en la Zona 2 clasificada como zona de moderada sismicidad.

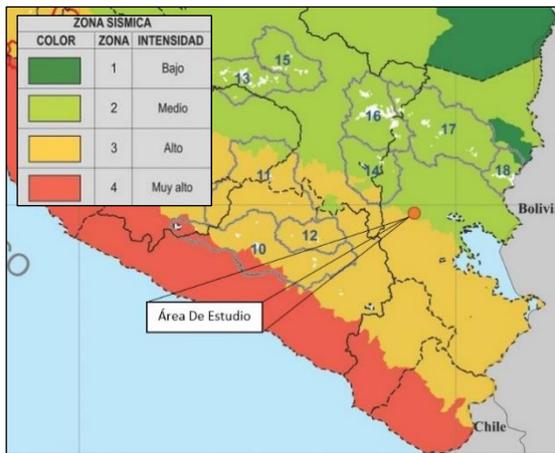


Figura 7. Ubicación de la zona de estudio según el mapa de zonificación sísmica del Perú

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.3.2. Intensidad

De acuerdo al análisis técnico, existen en el mundo dos zonas muy importantes de actividad sísmica conocidas con el Circulo Alpino Himalayo y el Circulo Circumpacifico. En esta última, donde se localiza el Perú, han ocurrido el 80% de los eventos sísmicos en el mundo. Por lo tanto, nuestro país está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica.

La fuente de datos básica de intensidades sísmicas que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú, ha sido presentada por Silgado (1978), de acuerdo a esta información, se concluye que según la historia sísmica del área de estudio (500 años), han ocurrido sismos de intensidades como VI en la escala de Mercalli, pero se afectara y conseguirá el valor de sus aceleraciones respectivas. En tal sentido, el valor de la aceleración máxima de diseño para los análisis de estabilidad, de acuerdo al mapa de isoaceleraciones, considerando una vida útil de 50 y un retorno de 500 años, se indica a seguir:

$$a_{max} = 0,45g \text{ (para un periodo de retorno de 500 años)}$$

Es aceptada internacionalmente, que el coeficiente sísmico en el análisis de condiciones pseudo-estáticas de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada. Por ello para el caso del análisis pseudo-estático de estabilidad del botadero de desmonte 3 se considera un valor de aceleración básica de diseño horizontal de 1/3 de isoaceleración pico, es decir 0,15g y por cuestiones técnicas y de experiencia del área geotecnia del Proyecto Águilas, además de la verificación de la estabilidad de los taludes se consideró 0,16g como el valor de la aceleración básica de diseño.

$$a_{max} = 0.16g \text{ (para un periodo de retorno de 500 años)}$$



Figura 8. Ubicación de zona de estudio según el mapa de isoaceleraciones del Perú

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Asimismo según el mapa de isoaceleraciones en la zona de estudio se tiene una aceleración máxima de 0,32g y asumiendo que el coeficiente sísmico para el análisis de condiciones pseudo-estáticas de diseño de taludes, debe ser una fracción que varía entre 1/2 a 1/3 de la máxima aceleración esperada; aplicándole una fracción máxima de 1/2 también nos da una aceleración básica de diseño horizontal de 0,16g.

3.4. Investigación geotécnica

Las exploraciones geotécnicas de campo tienen como finalidad evaluar las características y propiedades de los materiales de la cimentación del área de emplazamiento del depósito de desmorte. El presente estudio documenta los resultados de la investigación geotécnica, además de la verificación de la estabilidad de los taludes.

3.4.1. Investigaciones geotécnicas de campo

Con el objetivo de identificar los diferentes estratos del sub-suelo, su composición y determinar las características físico-mecánicas más representativas de la cimentación y del material de desmorte, se realizaron excavaciones manuales de calicatas a cielo abierto de acuerdo a la norma ASTM D-2488. También se obtuvieron muestras disturbadas de los materiales de suelo y del material de desmorte para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos. A continuación se presenta un resumen de las calicatas ejecutadas en campo:

Tabla 10. Resumen de calicatas y trincheras

Componente	Calicatas trincheras	Profundidad (m)	Nivel freático (m)	Muestra
Depósito de desmorte 3	C - 1	0,30 - 1,00	N.P.	CA-01

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Determinación de la profundidad del nivel freático: En la ejecución de las excavaciones geotécnicas (trincheras y calicatas) no se ha determinado la presencia de agua ya que las excavaciones no alcanzaron el nivel freático en la zona donde se emplazara el botadero de desmorte 3.

3.4.2. Ensayos de laboratorio

Para la caracterización geotécnica se ha realizado los siguientes ensayos de laboratorio geotécnico.

3.4.2.1. Ensayos estándar

A partir de las muestras obtenidas de las excavaciones de trincheras se enviaron al laboratorio de Hidroenergía SRL, los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM), que mencionamos a continuación:

Análisis granulométrico.	ASTM D-422
Límites de Atterberg.	ASTM D-4318
Contenido de humedad.	ASTM D-2216
Clasificación SUCS.	ASTM D-2487
Corte directo.	ASTM D-3080

A continuación presentamos en resumen los resultados obtenidos en laboratorio:

Tabla 11. Resumen de resultados de laboratorio

Clasif. SUCS	Límites de consistencia			Distribución granulométrica		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)
GP-GM	NP	NP	NP	44.7	46.3	9.1

L.L. Límite líquido.

I.P. Índice de plasticidad.

L.P. Límite plástico.

C.H. Contenido de Humedad.

Fuente: Laboratorio Geotécnico Hidroenergía Consultores en Ingeniería SRL.

Elaboración: Propia.

3.4.2.2. Determinación de los parámetros de resistencia

Los parámetros de resistencia del material involucrado en la determinación de la capacidad admisible, es decir, el ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión (c), han sido determinados a partir del ensayo de laboratorio denominado Corte Directo ASTM D-3080 y con las correlaciones a las curvas granulométricas y propiedades índices planteadas por la Norma DIN-1055.

A continuación se presenta los parámetros de resistencia utilizados en el cálculo de la capacidad admisible del terreno.

Tabla 12. Resumen de los parámetros de resistencia

Terreno de fundación	Material	Df (m)	γ (g/cm3)	Cohesión (kg/cm ²)	ϕ (°)
Depósito de Desmonte 3	0,30-1,00	1,00	2,07	0	32,4

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.4.2.3. Profundidad de cimentación

Tomando en cuenta las características de los suelos encontrados en las investigaciones de campo y laboratorio, las dimensiones de las estructuras proyectadas y los niveles de carga impuesta por estas últimas se recomienda cimentar mediante cimientos corridos a una profundidad mínima de 1,00 m.

3.4.2.4. Cálculo de la capacidad admisible del suelo

El material de cimentación del botadero presenta características de un material granular y compacto que por dichas características nos permite realizar el tipo de cimentación superficial corrida. Las características de resistencia esta dado principalmente por el ángulo de fricción interna del suelo y su cohesión, obtenidos a través del ensayo de laboratorio:

Capacidad admisible por resistencia: La capacidad de carga se ha analizado usando la teoría de Terzaghi modificado por Versic.

$$q_u = S_c C N_c + S_\gamma (1/2) \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D_f N_q$$

$$q_{ad} = q_u / F_s$$

Donde:

Profundidad de cimentación	D _f = 1,00m.
Ancho de cimentación	B = 2,00
Factores adimensionales	N _c = 27.643
	N _γ = 19.06
	N _q = 16.26
Factor de seguridad	F _s = 3

Se ha determinado el valor de capacidad de carga para el Depósito de Desmontes 3, q_{ad} = 1.97 Kg/cm².

Tabla 13. Resumen de los parámetros de resistencia

Terreno de fundación	Tipo cimentación	Df (m)	B (m)	q _{ad} (kg/cm ²)
Depósito de Desmonte 3	Corrido	1,00	2	1,97

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

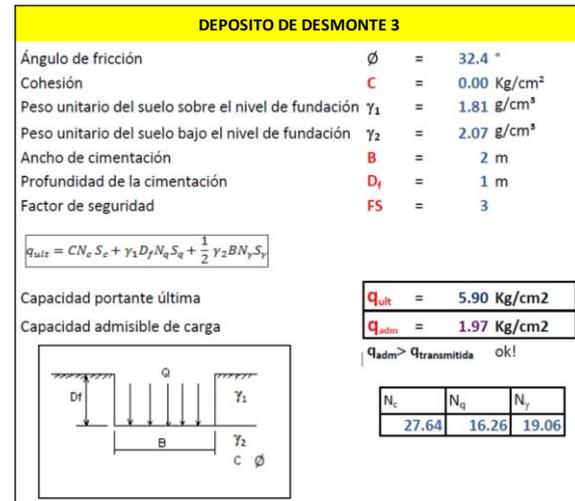


Figura 9. Resumen de cálculos de la capacidad admisible de carga

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Análisis de asentamientos totales: El cálculo de asentamientos fue realizado de acuerdo a la teoría elástica aplicada por Lambe y Withman, para los tipos de cimentaciones y el esfuerzo neto que transmite un asentamiento uniforme que se puede evaluar por la fórmula que se muestra a continuación.

$$S_i = q_{ad} B (1-u^2) I_w / E_s$$

Donde:

S _i	= Asentamiento producido en (cm).
q _{ad}	= Capacidad admisible (kg/cm ²).
B	= Dimensiones de la cimentación (cm).
E _s	= Módulo de elasticidad (kg/cm ²).
u	= Coeficiente de Poisson = 0.30.
I _w	= Factor de forma (cm/m).

Los valores de capacidad para el asentamiento total se obtienen como la suma de asentamiento elástico y asentamiento por consolidación:

- Ancho de cimentación $B = 2.00$
- Coefficiente de Poisson $\mu = 1.97 \text{ kg/cm}^2$
- Capacidad admisible (kg/cm^2) $q_{ad} = 0.30$

En el área donde se construirá el depósito de desmonte el asentamiento elástico es de 0,92 cm. Por lo tanto el asentamiento total estará en el rango de 0,90 cm. a 0,94 cm.

Tabla 14. Capacidad admisible por asentamiento

Zona de fundación	Df (m)	B (m)	μ	$q_{ad(1)}$ (kg/cm ²)	S_i (cm)
Depósito de Desmonte 3	1,00	2	0,30	1,97	0,92

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

ASENTAMIENTO DE DEPOSITO DE DESMONTE 3			
Esfuerzo promedio transmitido	q_{trans}	=	0.9 Kg/cm ²
Ancho de la cimentación	B	=	2 m
Módulo de Elasticidad	E_s	=	450 Kg/cm ²
Relación de Poisson	ν	=	0.3
Factor de forma	I_f	=	2.54 m/m
Asentamiento permisible	$S_{i(max)}$	=	2.5 cm
Asentamiento	S_i	=	0.009 m
Asentamiento por carga transmitida	S_i	=	0.92 cm

Figura 10. Resumen de cálculos del asentamiento por carga

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.4.3. Análisis de estabilidad física

3.4.3.1. Parámetros de resistencia

Los parámetros de resistencia de los materiales han sido estimados a partir de los resultados de la investigación geotécnica y los ensayos de laboratorio estándar.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de los parámetros de resistencia utilizados en el cálculo de la estabilidad de taludes del depósito de desmontes 3.

Tabla 15. Resumen de parámetros de resistencia

Comp.	Material	Peso unitario (KN/cm ³)		C (Kpa)	Angulo fricción (°)
		Natural	Saturada		
Depósito de Desmonte 3	Desmonte de Mina	22.1	22.8	50	25.92
	Grava - Limosa	18.1	17.5	0	32.4
	Roca	25.1	25.1	202	25

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.4.3.2. Coeficiente sísmico

Para las condiciones estáticas se ha considerado un coeficiente sísmico de 0,00g con un factor de seguridad de 1,5 y para las condiciones pseudo-estáticas se ha considerado un coeficiente sísmico de 0,16g con un factor de seguridad de 1,3 para la etapa de operación.

3.4.3.3. Análisis de estabilidad de taludes

En los cálculos del análisis de estabilidad de taludes se empleó el software de Slide de Rocscience, lo que ha posibilitado estudiar una variedad de configuraciones de falla. Estos programas toman en cuenta las propiedades del suelo y las características geométricas del talud. El programa de cómputo tiene incorporado los métodos de Bishop y Janbu basados en el criterio de equilibrio límite para determinar el factor de seguridad de una superficie de falla. Para el caso del botadero 3 se han analizado el talud de diseño, que servirá para todas las etapas de operación y cierre. Para los análisis de estabilidad estático y pseudo-estático se empleó la teoría de equilibrio límite de Bishop, para la generación de superficies circulares de falla. El factor de seguridad según la teoría de equilibrio limite, es la relación entre las fuerzas estabilizantes y las fuerzas desestabilizantes.

A continuación se presenta un resumen de los factores de seguridad calculados y determinados, para las condiciones propuestas:

Tabla 16. Resumen de resultados de análisis de estabilidad de taludes del botadero 3

Superficie de falla	Talud	FS	FS	Recomendación
		Estático	Pseudo-estático	
		FS Mínimo Aceptable (1,500)	FS Mínimo Aceptable (1,300)	
Perfil A-A'	Global-Local	3.494	2.394	Talud: 1.5 : 1.0 (H:V)

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

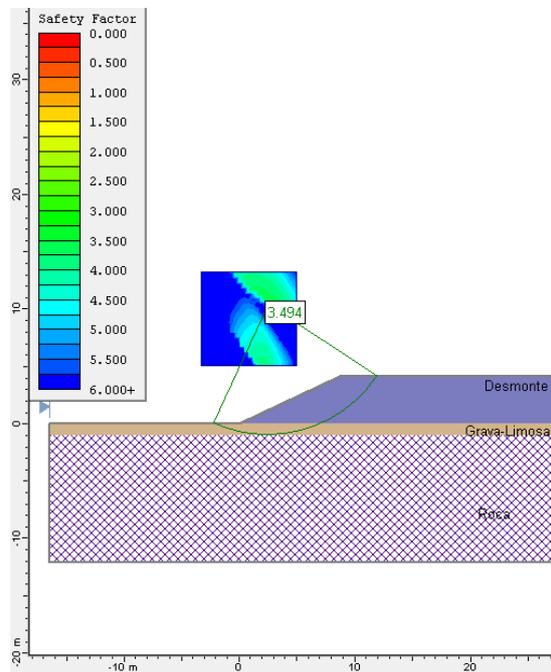


Figura 11. Análisis de estabilidad estático del depósito de desmorte 3 ($\alpha = 0.0$)

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

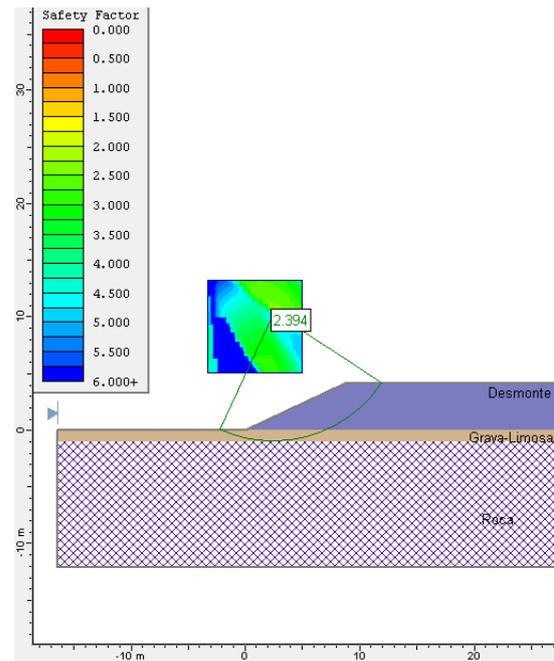


Figura 12. Análisis de estabilidad pseudo-estático del depósito de desmorte 3 ($\alpha = 0.16$)

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.4.4. Análisis de estabilidad química

Para predecir las posibilidades de generación de drenaje ácido del material de desmorte que se generaría como resultado de la explotación de minera se ha tomado muestras representativas de la zona del Proyecto.

Las pruebas de Balance Ácido Base (método EPA-6000/2-78-057) se realizaron en el Laboratorio INSPECTORATE, lo cual ha permitido la caracterización de los materiales referidos a la interpretación de las pruebas por el método de Determinación de Potencial de Neutralización y ABA.

3.4.4.1. Resultados de las pruebas de potencial de neutralización y balance ácido base

De acuerdo al análisis espectral y las observaciones microscópicas realizadas en Laboratorio, del material del desmorte generado en

mina, se tiene como resultado las siguientes características químicas:

Tabla 17. Potencial neto de neutralización del desmonte

Parámetros	Resultados
Muestra	Desmonte
pH	8,7
PN (KgCaCO3/t)	74,78
S total (%)	0,52
SSO4 (%)	0,45
S (%)	<0.01
PA (KgCaCO3/t)	2,19
PNN (KgCaCO3/t)	72,59
PNN (KgCaCO3/t)	34,18

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Determinando en base a los resultados del potencial neto de neutralización del desmonte que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros, tenemos:

Si $PNN > 20$ y $PN/PA > 3$: Bajo o nulo potencial de generación de ácido.

SI $PNN < 20$ y $1 < PN/PA < 3$: Potencial marginal de generación de ácido.

SI $PNN < 0$ y $PN/PA < 1$: Alto potencial de generación de ácido.

De acuerdo a estas consideraciones podemos tipificar el comportamiento de la muestra de desmonte.

Tabla 18. Resultados de los análisis de PNN

Muestra	PNN	PN/PA	Drenaje ácido
Desmonte	72,59	34,18	No

Elaboración: Propia.

3.5. Obras para la construcción del depósito de desmonte

Las operaciones mineras del proyecto minero Las Águilas, generaron materiales de desmonte los que han sido almacenados en los depósitos de desmonte 1 y 2, que de acuerdo al planeamiento a largo plazo

no será suficiente, en tanto que el proyecto Las Águilas continuara con sus operaciones de explotación la cual requiere almacenar mayor volumen de desmonte, para cual se requiere la construcción del depósito de desmonte 3. Para diseñar el depósito de desmonte 3, se realizó una evaluación en campo y determinar los parámetros geotécnicos de los materiales del suelo de cimentación, las propiedades físico mecánicas y químicos del material de desmonte. Con los resultados de las evaluaciones se ha determinado la configuración de los taludes del depósito de desmonte que permitirá garantizar su estabilidad. Concluida la evaluación geotécnica y ambiental del área propuesta para la construcción del botadero de desmonte 3 se ha diseñado los criterios de construcción. Teniendo en cuenta las condiciones geotécnicas y la topografía se tiene las siguientes características del depósito de desmonte 3 por construir:

Tabla 19. Características de diseño del depósito de desmonte 3 por construir

Características	Depósito de desmonte 3
Áreas	6,734 m ²
Capacidad de almacenamiento calculado	139,393.8 TM
Cantidad de almacenamiento proyectado	114,975 TM
Angulo de talud de los bancos recomendado	Talud = 1.5 : 1.0 (H:V) = 34°
Angulo de reposo calculado	25.92°
Cota máxima	4369 msnm
Cota mínima	4354 msnm
Altura de banquetta proyectada	7 m
Ancho de banquetta proyectada	5 m
Ancho de bermas de estabilidad	Talud = 131 m
Gradiente de la berma	Talud = 0%

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Proceso de vertido y llenado del material de desmonte: Para el proceso de vertido del desmonte en el depósito se ha considerado: Almacenar el material de desmonte en una zona de acopio en la puerta de la bocamina, para luego transportar dicho

material desde la bocamina hasta el nivel 4369 del depósito para almacenar y empezar la construcción de manera ascendente.

Personal y maquinaria para la construcción del depósito de desmonte: Debido a la cantidad de material que será almacenado por mes en un aproximado de 1350 tm de desmonte el personal que se requerirá será eventual.

Personal: Se requerirá 01 ingeniero, 01 conductor de volquete, 02 ayudantes y 01 tractorista.

Maquinaria y Equipo: Se requerirá 01 volquete de 25 toneladas y 01 Cargador Frontal.

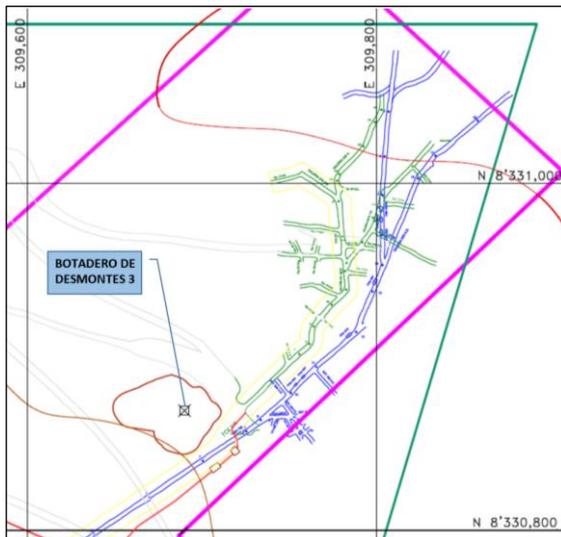


Figura 13. Ubicación del botadero de desmontes 3 en el proyecto minero Las Águilas

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.5.1. Especificaciones técnicas para la construcción del depósito de desmontes 3

Para construir la base de cimentación del depósitos de desmontes se excavara y removerá todo el material orgánico, luego se compactara el material existente y se colocara una capa impermeable de material arcilloso, encima de esta capa se instalara una geomembrana que servirá para revestir o cubrir el terreno y evitar la saturación de la base de

cimentación producto de la filtración de las aguas. Luego se procederá a instalar el sistema de subdrenaje que permitirá manejar las aguas superficiales y sub-superficiales, finalmente se colocara una capa de 0.20m. de material semi-impermeable para cubrir el sistema de subdrenaje y la geomembrana.

3.5.2. Habilitación del área del suelo de cimentación

Para la habilitación del suelo de cimentación, primeramente se deberá desbrozar toda la cobertura vegetal.

Tabla 20. Características de corte para la extracción del material de cobertura

Componente	Área de material a ser extraído	Volumen de material a ser extraído
Depósito de desmonte 3	6,734 m ²	1,346.8 m ³

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Posteriormente se deberá realizar los replanteos para la delimitación de los linderos del depósito de desmonte, monumentados con hitos para los controles respectivos.

3.5.3. Colocación de la capa de impermeabilización y despliegue de geomembrana

Una vez que se haya excavado y removido el material orgánico, se procederá a colocar la plataforma de capa impermeabilizante compuesta por material arcilloso el cual será perfilado y compactado adecuadamente. Lugo se ara el despliegue de la Geomembrana, Sobre el Soil Liner, realizando las pruebas de calidad respectivas. Finalmente se colocara una capa de 0,20 m, de material semi-impermeable que servirá como amortiguamiento del material de desmonte y que a su vez ayudara a proteger la geomembrana y las tuberías

de subdrenaje para evitar que se produzcan algún daño.

3.5.4. Sistema de drenaje

El sistema comprende la proyección de una red de drenaje para evacuar las aguas superficiales y sub-superficiales que discurren sobre las áreas de influencia del depósito de desmonte, de esta forma garantizar la estabilidad hidrológica, evitando la saturación del material.

Cuneta de coronación: Para captar las aguas de escorrentía del contorno superior interno del depósito de desmonte, se ha proyectado la construcción de canales de coronación. Su implementación será desde el inicio de operaciones y que estas quedaran de manera definitiva para su cierre. Para determinar el caudal de diseño de los canales de coronación se han considerado el caudal pico alto de retorno de 200 años. Se han proyectado un tipo de sección para el Depósito de Desmonte y sus respectivos tramos. A continuación se indican la sección para el canal de coronación.

Tabla 21. Dimensión de los canales de coronación

Componente	Sección	Base (m)	Altura (m)	Angulo (°)	Long. (m)
Depósito de desmonte 3	Rectangular	0.3	0.39	1H:1V	383

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Los canales de coronación serán conformados de material base de 0,15m. de espesor, para luego ser revestidos con concreto armado de 0,15m de espesor. En general, la sección del canal de coronación será de sección rectangular, y se proyectara siguiendo la pendiente de la topografía del terreno, cuyos fines serán captar las aguas producto de las precipitaciones pluviales y derivarlas hacia las pozas colectoras.

Verificación hidráulica de la cuneta de coronación: La verificación hidráulica se ha

realizado con el software H-Canales, el cual nos permitirá determinar los tirantes de agua para diferentes pendientes del canal dada las características geométricas, también es necesario ingresar como valor el material del canal que en este caso es de mampostería y el caudal que discurrirá sobre este. El caudal que se utilizará es el que se ha obtenido anteriormente en el análisis hidrológico, donde se calculó para la microcuenca la mayor área de influencia en el depósito de desmonte, la máxima precipitación promedio, para periodos de retorno de 2 a 1000 años, los cuales se aproximan volúmenes máximos de escorrentía, los mismo que muestran en la tabla siguiente:

Tabla 22. Caudales de diseño para diferentes periodos de retorno

T (años)	Pp Max. (mm)	c	I _{max} (mm/h)	Q (m ³ /s)
2	13.08	0.37	4.36	0.67
5	15.03	0.4	4.93	0.84
10	16.51	0.42	5.35	0.96
20	18	0.44	5.77	1.1
50	19.96	0.43	6.32	1.19
100	21.45	0.49	6.73	1.46
200	22.95	0.57	7.14	1.82
500	24.1	0.6	7.45	2.01
1000	24.49	0.63	7.56	2.14

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Periodo de retorno T = 500 años
 Caudal de diseño Q = 2.01 m³/s

Datos:
 Caudal (Q): 2.01 m³/s
 Ancho de solera (b): 0.30 m
 Talud (Z):
 Rugosidad (n): 0.013
 Pendiente (S): 0.2 m/m

Resultados:
 Tirante normal (y): 0.3947 m
 Área hidráulica (A): 0.1184 m²
 Espejo de agua (T): 0.3000 m
 Número de Froude (F): 8.6272
 Tipo de flujo: Supercrítico

Perímetro (p): 1.0894 m
Radio hidráulico (R): 0.1087 m
Velocidad (v): 16.9757 m/s
Energía específica (E): 15.0825 m-Kg/Kg

Figura 14. Cálculo de tirante normal - sección rectangular

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

Poza de colectora y de sedimentación: Se habilitará 02 pozas diseñadas consecutivamente, la primera colectora y la segunda de sedimentación del subdrenaje y drenaje del depósito de desmonte 3, estas pozas tendrán dimensiones de 2,0 m x 2,0 m x 1,5 m de profundidad, serán construidas de concreto y recubiertas con geomembrana, con una capacidad de 6m³. La primera poza servirá para coleccionar las aguas y que pasaran por reboce hacia la poza de sedimentación de sólidos en suspensión que arrastre el efluente, para luego salir por una tubería hacia el punto de monitoreo y finalmente evacuarla hacia la quebrada adyacente. Las coordenadas UTM WGS 84 representativas para las pozas de tratamiento propuestas, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 23. Ubicación de las pozas colectoras

Componente	Referencia	Coordenadas UTM - WGS 84	
		Norte	Este
Depósito de Desmonte 3	Poza N° 01 y 02	8330731.55	309434.57

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.5.5. Sistema de subdrenaje

El sistema de subdrenaje contempla la instalación de una red de colectores distribuidos a los largos de la capa impermeabilizadora. El sistema de subdrenaje se emplazara por debajo del nivel de cimentación del botadero de desmonte y tiene por objeto captar y derivar las aguas de infiltración provenientes del cuerpo del depósito de desmonte y derivarlas al canal colector de subdrenaje. Las características del sistema comprende la instalación de una tubería matriz coleccionadora perforada CPT tipo SP de 6” de Ø, los drenes secundarios estarán conformadas por tuberías corrugadas de polietileno CPT perforadas de 4” de Ø, los que se conectan a la tubería matriz empleando accesorios provistos por el fabricante, para finalmente protegerlos con material semi-impermeable de 0,20m.

3.5.6. Puntos de monitoreo de aguas

Se ubicara un punto de monitoreo de aguas después de ser tratadas en las pozas de sedimentación para determinar la calidad de agua y verificar su estabilidad química de PNN, La frecuencia de monitoreo será mensual.

Tabla 24. Ubicación de puntos de monitoreo de efluentes

Componente	Coordenadas UTM - WGS 84	
	Norte	Este
Depósito de desmonte 3	8330769.55	309223.57

Fuente: Proyecto Las Águilas - Consorcio Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA.

Elaboración: Propia.

3.5.7. Vida útil del depósito de desmontes 3

La vida útil del botadero de desmonte 3, estará en función al tiempo y volumen de extracción de desmonte producto de la exploración y explotación del proyecto minero Las Águilas. Sabiendo que el peso específico de desmonte es de 2.07 TM/m³, se tiene calculado una capacidad de almacenamiento de 114,975 TM, equivalente a 7 años de vida útil.

3.6. Programa de monitoreo

Durante la construcción y operación del botadero 3 se instalara los puntos de monitoreo de taludes como la instalación de inclinómetros que permitirá determinar los desplazamientos del talud de los bancos del botadero de desmonte a diferentes profundidades, así como asentamientos de los materiales; puntos de control geodésico y puntos de control topográfico, para monitorear la topografía del botadero con la colocación de hitos de control y mediante un sistema de medición a partir de una línea base enlazada a un punto geodésico nos determinaran la variación horizontal y vertical y nos permitirá tomar las medidas del caso. Asimismo se realizara monitoreos geoquímicos, con el control de calidad del material de desmontes y de las provenientes del botadero.

Durante el cierre del botadero 3 se realizarán monitoreos mediante el estudio geoquímico de material de desmonte, inspección de deformaciones y formas geométricas del depósito, levantamiento topográfico anual del depósito de desmontes, inspecciones de las condiciones físicas y estructurales de las obras auxiliares del botadero de desmonte y mediciones de pendientes, deformaciones mediante control instrumental topográfico u otros dispositivos de medición.

4. Conclusiones

Según el estudio y descripción de la geología de la zona del proyecto de botadero 3, se concluye que se ubica en una peniplanicie andina (Altiplano) con un relieve cordillerano, conformada por cerros, lomadas y valles en U, el basamento rocoso pertenece al grupo Tacaza regionalmente es consistente en una serie de derrames lávicos, brechas de flujo, aglomerados y tobas, a veces brechoides, conformados por las unidades rocosas: Grupo Tacaza (T-Ta), Depósitos Murrénicos (Q - mo), Depósitos Aluviales (Q - al), y según su geodinámica se concluye que la zona es considerada de Riesgo Geodinámico Moderado.

De acuerdo a la evaluación hidrológica de la estación Llally; para el periodo de retorno de 500 años se calculó una precipitación máxima en 24 hrs de 2.01 mm, que se utilizara para el diseño de las estructuras de drenaje y subdrenaje del botadero de desmontes 3.

De la evaluación sísmica para el caso del análisis pseudo-estático de estabilidad del botadero de desmonte 3 se considera un valor de aceleración básica de diseño horizontal de 0,16g.

De acuerdo a la investigación geotécnica y según los resultados de los cálculos de estabilidad de taludes, la inclinación del talud proyectado es estable para la condición propuesta en el talud con un factor de seguridad de 3,494 calculado en condiciones

estáticas considerando un coeficiente sísmico de 0,00g superior a 1,5 el cual es el mínimo aceptable, y un factor de seguridad de 2,394 calculado en condiciones pseudo-estáticas considerando un coeficiente sísmico de 0,16g superior a 1,3 el cual es el mínimo aceptable. Asimismo en el análisis de estabilidad química en base a los resultados del potencial neto de neutralización del desmonte del botadero 3, que depende del balance de minerales neutralizantes y sulfuros, se tiene un PNN igual a 72,59 y PN/PA igual a 34,18, lo cual no genera drenaje ácido.

La base de cimentación donde se ha obtenido una capacidad admisible de 1.97 km/cm², será construido con la excavación y remoción del material orgánico superficial, con posterior compactado y colocado secuencialmente con capa impermeable de material arcilloso, geomembrana, posterior a ello la instalación del sistema de subdrenaje, y finalmente una capa de 0.20m. de material semi-impermeable.

Se construirá un sistema de manejo de aguas superficiales y sub-superficiales. El sistema de drenaje comprenderá la construcción de un canal de coronación que captaran las aguas superficiales producto de las lluvias, y será construida bordeando el área del botadero de desmonte y tendrá la forma geométrica rectangular. El sistema de subdrenaje estará constituido por la instalación de tuberías de 4” y 6” de diámetro y serán instaladas por encima de la cimentación del botadero, estas servirán para captar las aguas provenientes de la infiltración provenientes del cuerpo de desmonte y serán derivadas finalmente hacia las pozas colectoras.

Se construirá dos pozas para aguas, una servirá para coleccionar las aguas y la segunda para el tratamiento de sedimentos provenientes del sistema de drenaje y subdrenaje, las pozas tendrán las siguientes dimensiones 2,0 m x 2,0 m. x 1,5 m de profundidad, instalándose un punto de monitoreo de

aguas para controlar la calidad y estabilidad química provenientes de las pozas de tratamientos.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas, a sus docentes y administrativos por el apoyo, las enseñanzas y las orientaciones brindadas durante mi formación profesional.

A mis padres y familiares por la compañía y el apoyo incondicional, durante mi permanencia en la universidad y a la vez que hicieron posible la culminación del presente trabajo de investigación.

Referencias bibliográficas

- Remenieras, G. (1968). *Hidrología del Ingeniero* (2da ed.; E. C. y Técnica, Ed.). Cuba: Editorial Ciencia y Técnica.
- Paucar-Conce, G. M. (2015). *Diseño y Estabilidad de Botaderos de Desmonte para la Remediación de Pasivos Ambientales de la Mina Recuperada Huancavelica* (Universidad Nacional del Centro del Perú). Retrieved from https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_2e9f203c306dcd3ddce4515fca681f99
- Rennat, E. A., & Miller, S. (1997). *Guía Ambiental para la Estabilización de Taludes de Deposito de Desechos Sólidos de Mina*. Retrieved from <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaestabilidad.pdf>
- Hynes-Griffin, M. E., & Franklin, A. G. (1984). *Rationalizing the Seismic Coefficient Method*. Retrieved from <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a144730.pdf>
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (2da ed.). Retrieved from https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Ingenieria_Geologica_-_Gonzalez_de_Vallejo.pdf
- Suarez-Diaz, J. (1998). *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales* (1ra ed.; I. de S. Ltda., Ed.). Retrieved from <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0101/doc0101.pdf>
- Ramírez-Oyangure, P., & Alejano-Monge, L. R. (2007). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes* (Red DESIR, Ed.). Retrieved from http://oa.upm.es/14183/2/MECANICA_DE_ROCAS_2.pdf
- Centeno-Pila, A. N. (2018). *Estudio Técnico del Diseño Estructural del Botadero de la Mina Constancia - Hudbay* (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Retrieved from <http://200.48.82.27/bitstream/handle/UNSAAC/3473/253T20180264.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villanueva, M., Lino, E., & Huaña, O. (2017). *Caracterización Geotécnica y Diseño de Botaderos en Mina*. 8. Retrieved from https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/MVillanueva_Caracterizacion_y_Diseño_de_Botaderos_2017.pdf
- Ortiz-Chambi, W. (2016). *Diseño de Botaderos de Desmonte en Open Pit usando Minesight 7.0 E.E. Piramide Cis Cujone*. Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3256/MIorchw03.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Mendoza-Loayza, J. A. (2016). *Análisis de Estabilidad de Taludes de Suelos de Gran Altura en la Mina Antapaccay* (Pontificia Universidad Católica del Perú). Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7614>
- Vilca-Arredondo, A. C. (2019). *Estudio Geotécnico para la Estabilidad del Talud del Depósito de Desmonte Santa Rosa del Proyecto Santa Rosa - Arequipa* (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco). Retrieved from <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4166>
- Samaniego, A., Felix, O., & Villanueva, M. (2010). *Diseño de Botaderos de Desmonte para Mina Subterránea*. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/176978644/DISENO-DE-BOTADERO-DE-DESMONTES-PARA-MINA-SUBTERRANEA>
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada* (1ra ed.). Santafé de Bogotá: McGRAW HILL INTERAMERICANA, S.A.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento de Edificaciones. , Pub. L. No. D.S. N° 003-2016-VIVIENDA, Diario El Peruano 32 (2016).
- Silgado, E. (1978). *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú, 1513-1974*. Lima.