



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

ANALISIS COMPARATIVO DE USO DE TECNOSOL Y
TOP SOIL PARA LA ESTABILIDAD FISICA DEL
DEPOSITO DE MATERIAL INADECUADO (DMI)
TURMALINA EN LA UNIDAD MINERA LA ZANJA

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Juan Daniel Moncada Espinoza

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon

Cajamarca – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Juan Daniel Moncada Espinoza**, denominada:

ANALISIS COMPARATIVO DE USO DE TECNOSOL Y TOP SOIL PARA LA ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE MATERIAL INADECUADO (DMI) TURMALINA EN LA UNIDAD MINERA LA ZANJA

Ing. Rafael Napoleón, Ocas Boñón

ASESOR

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

JURADO

Ing. Oscar Vásquez Mendoza

JURADO

DEDICATORIA

A DIOS, por fortalecerme y guiarme por el camino correcto en todo momento, por darme fuerzas para superar todas mis metas y permitirme salir adelante.

A mi padre Juan, por su incondicional apoyo, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos propuestos.

A mi madre, Giovanna por apoyarme y motivarme en mis estudios, dándome fuerzas para salir adelante en todo momento y por confiar plenamente en mí.

A mi familia, por haberme apoyado a lo largo de mis estudios, por su comprensión y apoyo incondicional; porque si no fuera por ustedes no hubiera sido posible este logro.

A mis compañeros y compañeras de carrera, por el compañerismo y compromiso a lo largo de todo el periodo universitario, por esmero y voluntad que tuvimos siempre; en donde nunca se perdió el objetivo principal de alcanzar y terminar con éxito nuestra etapa universitaria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer término a mis padres Juan y Giovanna por apoyarme siempre y motivarme a seguir adelante en los estudios que seguí y a toda mi familia por estar siempre ahí apoyándome.

A mi asesor de la UPN, el Ing. Rafael Ocas Boñon por su apoyo y confianza en mi trabajo los cuales han sido de gran aporte para la realización de esta tesis.

Agradecer a la compañía de minas Buenaventura por el financiamiento de la presente investigación, al área de Cierre de Mina de la Unidad Minera La Zanja, por darme las facilidades y brindarme la oportunidad de poder realizar la presente tesis.

Agradecer a Alfredo Gallardo y al Ing. Alfredo Angulo quienes autorizaron la realización de la presente Tesis.

De manera especial a Erika y Diego por su asesoramiento externo, orientación y contribución; dándome todas las facilidades durante el desarrollo de la presente tesis.

A mis amigos Melitza y Fiorella por su compañerismo y por compartir sus experiencias durante el desarrollo de la presente tesis.

Este estudio fue financiado por el programa Innóvateperú-FINCYT 2. Proyecto PITEI-4-P-015-091-16, otorgado a la Compañía de Minas Buenaventura y Minera La Zanja.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	ii
<u>DEDICATORIA</u>	iii
<u>AGRADECIMIENTO</u>	iv
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	v
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	vii
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	viii
<u>RESUMEN</u>	ix
<u>ABSTRACT</u>	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Justificación.....	12
1.4. Limitaciones	13
1.5. Objetivos	13
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes	14
2.1.1 Internacionales	14
2.1.2 Nacionales	14
2.1.3 Locales	15
2.2 Bases Teóricas	16
2.2.1 Estabilidad Física de Depósitos y Factores de Seguridad	16
2.2.2 Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes	17
2.2.3 Evaluación Geotécnica - Parámetros Usados en La Evaluación de La Estabilidad Física	19
a) Análisis granulométrico ASTM D422/C136	19
b) Contenido de humedad ASTM D2216.....	20
c) Límites de Atterberg ASTM D4318.....	21
d) Peso específico de finos ASTM D854	22
e) Ensayo de corte directo ASTM D3080	23
2.2.4 Métodos de Cierre de Depósitos	24
2.2.5 Coberturas Mediante Tecnosoles.....	24
2.3 Hipótesis	25
2.3.1. Hipótesis general	25
2.3.2. Hipótesis específicas	25

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	26
3.1 Unidad Minera La Zanja.....	26
3.1.1. Ubicación	26
3.1.2. Clima y Vegetación	26
3.2 Métodos de Investigación	27
3.2.1. Hidrología.....	27
3.2.2. Geología.....	27
3.2.3. Geomorfología	28
3.2.3.1. Relieve	29
3.2.4. Litología.....	30
3.2.5. Mapeo Geotécnico.....	31
3.3 Características geotécnicas de los materiales del depósito	31
3.3.1. Calicatas.....	31
3.3.2. Ensayos índices de laboratorio para material inadecuado	32
3.3.3. Propiedades de resistencia del DMI turmalina	35
3.3.4. Ensayos índices de laboratorio para coberturas.....	36
3.3.5. Propiedades de Resistencia para Coberturas	36
3.3.6. Topografía.....	37
3.3.7. Análisis de Estabilidad con Slide 6.0	38
3.4 Operacionalización de Variables	40
3.5 Diseño de Investigación.....	41
3.6 Unidad de Estudio.....	41
3.7 Muestra	41
3.8 Población	41
3.9 Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos.....	41
3.10 Métodos, Instrumentos y Procedimientos de Análisis de Datos.....	42
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	43
4.1. Propiedades físicas de las coberturas para el cierre.....	43
4.2. Análisis de la estabilidad.....	46
4.2.1. Condiciones iniciales del depósito.....	46
4.2.2. Análisis del efecto de las coberturas en la estabilidad general del depósito	48
4.2.3. Efecto del sistema de cierre en la estabilidad del depósito (Análisis Zona Delimitada).....	54
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	61
Anexo n° 1: Registro Fotográfico	61
Anexo n° 2: Ensayos de Laboratorio.....	69
Anexo n° 3: Ensayo de Corte Directo	82
Anexo n° 4: Imágenes.....	87
Anexo n° 5: Planos.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Métodos de Equilibrio Límite más Usados	18
Tabla 2: Coordenadas del área de estudio	26
Tabla 3: Clasificación de Pendientes según Topografía	30
Tabla 4: Distribución de Calicatas del Área de Investigación	32
Tabla 5: Propiedades Físicas de Calicatas del Depósito	34
Tabla 6: Materiales que conforman el depósito DMI Turmalina	35
Tabla 7: Propiedades Físicas de Diferentes Tipos de Coberturas	44
Tabla 8: Ensayo de Corte Directo - Coberturas	44
Tabla 9: Características de las Secciones Analizadas	46
Tabla 10: Factores de Seguridad para DMI Turmalina - Método de Spencer	47
Tabla 11: Resultados para Factores de Seguridad del Depósito – Tensiones Totales	48
Tabla 12: Factores de Seguridad calculados para el Depósito y Coberturas - Tensiones Totales	50
Tabla 13: Factores de Seguridad Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas	51
Tabla 14: Parámetros de Diseño Condiciones Pseudo-estáticas	52
Tabla 15: Factores de Seguridad Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas + Sismicidad	53
Tabla 16: Factores de Seguridad para la Zona Representativa – Tensiones Efectivas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Curva Granulométrica (ASTM D422).....	20
Figura 2: Carta de Plasticidad (ASTM D4318).....	22
Figura 3: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte (ASTM D3080)	23
Figura 4: Distribución de Calicatas del Área de Investigación,.....	32
Figura 5: <i>Conformación de los diferentes tipos de materiales que definen el área de estudio – DMI Turmalina</i>	35
Figura 6: Topografía del DMI Turmalina	37
Figura 7: Secciones a lo largo del DMI Turmalina	38
Figura 8: Operacionalización de variables	41
Figura 9: Valores de cohesión para cada tipo de cobertura	45
Figura 10: Valores de ángulo de fricción interno para cada tipo de cobertura	45
Figura 11: Secciones del Perfil para el Análisis con Slide 6.0	46
Figura 12: Análisis de superficie de falla tipo circular a través de franjas o dovelas – método de equilibrio límite.....	47
Figura 13: Factores de seguridad del DMI Turmalina en Tensiones Totales	48
Figura 14: Coberturas de Tecnosol vs Cobertura de Top Soil.....	49
Figura 15: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Totales	49
Figura 16: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Totales (F.S)	50
Figura 17: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas.....	51
Figura 18: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas (F.S)	52
Figura 19: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas + Sismicidad	53
Figura 20: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas + Sismicidad (F.S).....	54
Figura 21: Zona Delimitada	54
Figura 22: Análisis de la Zona Representativa – Tensiones Efectivas	55
Figura 23: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas - Zona Representativa (F.S)	56

RESUMEN

La investigación se enfoca en el comportamiento físico de un depósito de material inadecuado (Turmalina – DMIT) en relación al factor de seguridad y la influencia de diferentes tipos de coberturas (Tecnosol – cierre alternativo; top soil – cierre convencional) sobre la estabilidad física del mismo depósito de material inadecuado, a través de ensayos de laboratorio que permiten determinar sus parámetros físicos y de resistencia. El DMI Turmalina abarca 5.7 has y es constituido principalmente por las zonas de material inadecuado, relleno masivo, dique existente y basamento rocoso; cada zona presenta parámetros distintos según su finalidad en el diseño. La zona de material inadecuado abarca la mayor extensión del depósito, constituido por: gravas limosas a arcillosas, gravas bien graduadas y presenta bloques angulosos a sub angulosos, estos materiales son provenientes de las operaciones mineras que no tiene interés económico así como de las construcciones y movimientos de tierras de las estructuras mineras. Para el cierre de este depósito se dispusieron mediante tendido natural tres capas de Tecnosoles con propiedades diferentes (ándico, reductor y eutrófico) conformando un total de 45 cm de espesor. Utilizando el software Slide 6.0 (rocscience), el cual calcula factores de seguridad a partir de parámetros de diseño ingresados, definiendo el modelamiento mediante el software a través de diferentes condiciones ya sea en tensiones totales, efectivas o sismicidad, se comparó la estabilidad del DMIT con la cobertura de Tecnosoles y con la aplicación de un cierre convencional de top soil (con igual capa de espesor). Para todos los escenarios estudiados las coberturas con Tecnosoles presentan una mejora en el factor de seguridad (F.S) en relación a la cobertura convencional (con top soil).

Palabras claves: Coberturas, depósito de material inadecuado (DMI), factor de seguridad, Tecnosoles y parámetros geotécnicos.

ABSTRACT

The research focuses on the physical behavior of a deposit composed of inadequate material (Turmalina - DMIT) in relation to the safety factor and the influence of the different types of coverage (Tecnosol - alternative closure, top soil conventional closure systems) on the physical stability of the same deposit, through laboratory tests to determine the physical and resistance parameters. The DMIT has 5.7 ha of area, consisting mainly of areas of inadequate material, massive landfill, existing dike and rocky basement, each zone has different parameters according to its purpose in the design. The area of inadequate material covers the largest area of the deposit, consisting of: gravel, silt, clays, gravel, or graded, and presents, blocks, angled, to, angular, these, materials, originating, of operations, mining, which, as well, does not have economic, as, of the constructions, and earthworks of the mining structures. The closure of this deposit was arranged by natural laying three layers of Technosols with different properties (andic, reductor and eutrophic) forming a total of 45 cm in thickness. Using the software Slide 6.0 (roscience), which calculates safety factors of entered design parameters, defining the modeling through the software through different conditions and the sea in total, effective stresses or seismicity, was compared with the speed of the DMIT with Technosoles coverage and with the application of a conventional top soil closure (with the same thickness layer). For all the studies studied, the coverage with Technosols showed an improvement in the safety factor (F.S) in relation to the conventional coverage (with top soil).

Keywords: Coverages, inadequate material deposit, safety factor, closure systems, Technosols and geotechnical parameters.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El depósito de material inadecuado DMI Turmalina de La Minera La Zanja, el cual está ubicado en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, al SE del departamento de Cajamarca, se encuentra en etapa de cierre. Según información proporcionada por la empresa minera el DMI Turmalina es un depósito que está constituido por material inadecuado consistiendo en: bolones, gravas, bloques angulosos a sub angulosos con estructura irregular de limos a arcillas (Ausenco, 2016). Las características de estos materiales y la geometría del depósito influyen en el comportamiento geotécnico. De hecho este depósito parece estar propenso a fuertes procesos de erosión por flujos de agua, precipitaciones o acciones eólicas, lo que puede generar deformaciones profundas y tenso deformacionales en la estructura y por consiguiente inestabilidad, por este motivo se plantea el uso de Tecnosoles como alternativa a esta problemática ya que presenta mejores propiedades físicas y de resistencia en comparación al método de cierre convencional (top soil).

En el sistema de cierre aplicado al DMI Turmalina se usó una innovadora tecnología, los Tecnosoles, a diferencia de los métodos convencionales de cierre los cuales comprenden el uso de top soil. Esta metodología del uso de Tecnosoles se viene implementando por primera vez en el Perú a través de este proyecto piloto.

El uso de esta tecnología tiene como objetivo asegurar un mejor cierre de mina mejorando la recuperación ambiental del depósito a nivel físico, biológico y químico.

Teniendo en cuenta que los materiales del propio depósito y los materiales aplicados superficialmente en el cierre contribuyen para su estabilidad geotécnica. Esta investigación pretendió comparar el efecto de las coberturas mediante: Tecnosoles y top soil; evaluando cómo influyen los parámetros geotécnicos en cada tipo de cobertura en relación al nivel de infiltración que presenta cada tipo de cobertura sobre el depósito Turmalina, a través del análisis de estabilidad y de los factores de seguridad obtenidos mediante el uso del software's especializados.

1.2. Formulación del problema

Problema Principal

¿Cómo varía la estabilidad física del depósito de material inadecuado Turmalina de la Unidad Minera La Zanja con la aplicación de materiales de cobertura de Tecnosol y top soil?

Problemas Específicos

1. ¿Cuáles son las características geotécnicas de los materiales que conforman el depósito Turmalina?
2. ¿Cómo son las variaciones geotécnicas entre coberturas mediante la aplicación de Tecnosoles y top soil del área?
3. ¿Cómo es el comportamiento geotécnico de las coberturas en condiciones saturadas?

1.3. Justificación

Los sistemas de cierre de depósitos generadores de drenajes ácido tienen como principal objetivo encapsular el material mediante una única o varias capas de diferentes materiales de modo que disminuya o impida la infiltración de agua y/o entrada de oxígeno y consecuentemente la oxidación de sulfuros (Lottermoser, 2010). Además, la capa aplicada superficialmente tiene el fin de aumentar la estabilidad física del depósito y disminuir el impacto paisajista. Considerar los parámetros físicos, es de enorme importancia de modo a asegurar una estabilización del componente en el tiempo.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes materiales de cobertura (Tecnosol y top soil usado normalmente en los sistemas de cierre de la unidad) en la estabilidad física del DMI Turmalina.

La implementación de la metodología usada aborda el estudio de los suelos, permitiendo conocer las características físico-mecánicas de las coberturas a partir de muestras para un análisis de su comportamiento físico y consecuentemente el factor de seguridad que expresan. De modo a aportar un enfoque geotécnico integrado y actualizado, en la investigación se usó el programa computacional Slide 6.0. Así se pretende demostrar que el uso de la tecnología de los Tecnosoles en el cierre de minas en operación permite, además de la recuperación biológica y química de los materiales del depósito y sus lixiviados, una mejora de las características físicas del depósito.

1.4. Limitaciones

La presente tesis estuvo sujeta a permisos previos anticipados, para el ingreso al depósito de material inadecuado en etapa de cierre de mina en la Unidad Minera la Zanja así como consulta de la información interna sobre el depósito y materiales.

Como mejora al presente estudio de investigación se indican las siguientes consideraciones:

- Realización ensayos de permeabilidad para determinar en coeficiente de permeabilidad para los diferentes tipos de coberturas.
- Los parámetros de resistencia (cohesión y fricción interna) obtenidos a través de muestreo mediante calicata para la zona de material inadecuado del DMI Turmalina son muy generales, ya que solo una serie de valores representan a toda la zona de material inadecuado.
- Incluir consideraciones más detalladas sobre condiciones climáticas de la zona en la evaluación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes materiales de cobertura (Tecnosol y top soil usado normalmente en los sistemas de cierre de la unidad) en la en la estabilidad física del DMI Turmalina.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Analizar los parámetros geotécnicos de los materiales que conforman el depósito Turmalina.
2. Determinar variaciones en la estabilidad física de las coberturas mediante uso de Tecnoles y top soil a través de diversos ensayos de laboratorio.
3. Analizar el comportamiento geotécnico del depósito ante condiciones saturadas y la influencia del nivel de infiltración.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Villanueva, (2017). “*Caracterización Geotécnica de Botaderos en Mina*” tuvo como objetivo definir los parámetros de diseño de un depósito mediante ensayos de campo, pruebas de laboratorio, inspección geofísica y toma de muestras representativas que permitan realizar una correcta caracterización del material con la finalidad de obtener propiedades que representen su participación en el modelo de análisis.

Suarez, (1998) “*Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales*”, plantea que la determinación precisa de las resistencias de los materiales de un talud es esencial para un análisis de estabilidad representativo de sus condiciones reales, determinando que los suelos no cohesivos saturados como la grava, arena y limos no plásticos están representados por $c=0$, de igual manera los suelos finos o suelos cohesivos están representados por mejores valores de cohesión.

Macías y Nieto (2012). “*Didáctica de la mina de Touro: procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos*” plantea la restauración ambiental de una zona afectada por alteración ambiental a través de la aplicación de suelos artificiales (Tecnosoles) que presentan como característica capacidad de tampón y retención de agua, estos suelos son obtenidos por valorización biogeoquímica de residuos ofreciendo excelentes recursos demostrativos de los procesos de recuperación sostenible de suelos contaminados.

Santos, Arán, Abreu y Varennes, (2018). “*Bio-Geotecnologías para la rehabilitación de sitios mineros*” trata con los enfoques biológicos, físicos, químicos y de ingeniería necesarios para la recuperación de desechos mineros. Se plantean estrategias y enfoques rentables para sitios contaminados, junto con métodos de remediación y rehabilitación para suelos contaminados y botaderos de desechos.

2.1.2 Nacionales

Ingemmet, (2011). “*Riesgos geológicos en la región de Cajamarca*”, se identificaron posibles zonas con deslizamientos y otros eventos geodinámicos como parte de las cuencas medio-altas de la vertiente pacífica.

Mendoza, (2016). “*Análisis de Estabilidad de Taludes de Suelos de Gran Altura en la Mina Antapacay*”, determina los parámetros de diseño de más de 100 metros de altura, donde los taludes eran conformados únicamente por suelos para lo cual se tuvo que estudiar la

estratigrafía de la zona, obteniendo parámetros de factor de seguridad de $F.S > 1.3$ en condiciones estáticas y $F.S > 1.0$ en condiciones pseudoestáticas.

Morales, (2000) en su estudio de tesis denominada “*Análisis y Diseño de Taludes Mediante Métodos Computacionales*”, plantea el uso de métodos computacionales a través de una simulaciones de la estabilidad ante diferentes condiciones in situ, concluyendo que los estudios de estabilidad de taludes están dirigidos a conseguir un talud final económico, seguro y óptimo, mediante las investigaciones de campo, análisis de laboratorio, evaluaciones técnicas, un apropiado programa de control en el terreno y experimentación a escala natural.

2.1.3 Locales

Consultora Knight Piesold, (2014). “*Depósitos de Material Inadecuado en el Interior del Tajo San Pedro Sur – Sector Turmalina Informe de Investigación Geotécnica*” tuvo como objetivo caracterizar geotécnicamente la zona de estudio donde según el mapeo geológico de superficie el DMI Turmalina consiste íntegramente de basamento rocoso, se realizó una caracterización geotécnica de los materiales, donde se identificaron dos unidades geotécnicas representadas por depósitos coluviales/deluviales (10% del área) y basamento rocoso (90% del área) cada uno presentando diferentes tipos y grados de alteración. El basamento rocoso según su litología consiste en tufo cristalolítico y en menor proporción por andesita presentando ligera a mediana meteorización de resistencia media a alta (36 a 100 Mpa), los valores RQD varían de mala a buena (25% a 75%) estimado según frecuencia de fracturas por metro lineal, la resistencia a la compresión simple estimado según ensayos con el martillo Schimdt entre 36 y 100 Mpa. RMR varía entre 48 a 59 indicando basamento rocoso de calidad regular.

Consultora Ausenco, (2016). “*Ingeniería para la Ampliación y Cierre del DMI Turmalina*” como parte de su estudio general del DMI Turmalina, se planteó determinar los parámetros del depósito, determinando que este contempla un relieve suave a moderado, con una inclinación general hacia el oeste. Este depósito está constituido por una cobertura de material inadecuado consistente en gravas limosas a arcillosas, gravas bien graduadas, limo plástico, y lentes de limo orgánico, sueltas a medianamente densas, húmedas, con gravas, bolones y bloques angulosos a subangulosos, estructura irregular, y en el pie un dique de relleno controlado. Estos materiales descansan sobre el basamento rocoso con alteración argílica avanzada y silicificación.

Montoya, (2014) “*Evaluación Geotécnica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca – El Gavilán*” propone realizar una evaluación geotécnica de los macizos rocosos y suelos en la carretera Cruz Blanca – El Gavilán para definir la inestabilidad de los taludes caracterizados

o influenciados por presentar cárcavas, derrumbes, deslizamientos, caídas de roca, agrietamientos y reptaciones.

Toro, (2014). “*Evaluación de la Inestabilidad de Taludes en la Carretera Las Pirias – Cruce Lambayeque, San Ignacio*” propone evaluar los taludes inestables donde se evaluaron varias secciones encontrándose 8 taludes inestables donde se determinó que si existe inestabilidad en los taludes $F.S < 1$).

Consultora Ausenco, (2016) “*Ingeniería para la Ampliación y Cierre del DMI Turmalina*” precisa que las medidas de cierre de estabilidad física de estos depósitos, han sido diseñadas considerando el peligro sísmico. Por ende, se infiere que eventos como terremotos no causarían daños significativos una vez que se ejecutó el cierre.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Estabilidad Física de Depósitos y Factores de Seguridad

Las propiedades físicas y resistentes de cada tipo de material junto con la presencia de agua, gobiernan el comportamiento tenso-deformacional y por lo tanto la estabilidad de la estructura (Gonzales, 2002). En este sentido el análisis de la estabilidad de depósitos toma en cuenta información de las propiedades físicas o información obtenida de parámetros como resistencia al cortante (cohesión y ángulo de fricción), densidad en campo y geometría de depósito así como de las características del suelo (cobertura) y métodos de disposición (compactado o sin compactar). La estabilidad de una masa de suelo hace referencia de su seguridad frente una falla o deslizamiento. Cuando la masa del suelo presenta una superficie inclinada, siempre existe el peligro que se produzcan movimientos y que el suelo del nivel superior descienda, como consecuencia de la presencia de esfuerzos cortantes que supera la resistencia al corte del suelo.

La evaluación de la estabilidad física de un depósito o talud se realiza, usualmente, a través del cálculo y análisis de los factores de seguridad (Braga, 1985). El Factor de Seguridad se emplea para conocer cuál es la probabilidad de amenaza que un talud o terreno con inclinación falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. Según Ramos y Gorraiz, (2013) el análisis de estabilidad consiste en delinear una superficie de deslizamiento sobre el perfil del sistema, y dividirla en secciones o rebanadas verticales, para luego calcular las fuerzas y momentos que actúan sobre cada sección, computando posteriormente el factor de seguridad mediante la integración de aspectos como condición sísmica y parámetros resistentes.

2.2.2 Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Existe una gran cantidad de métodos para el análisis para la estabilidad de taludes en términos de factor de seguridad (F.S), donde se clasifican en métodos numéricos y métodos de equilibrio límite.

- **Métodos de Equilibrio Límite:** Plantean que las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla o superficies circulares equivalentes a un factor de seguridad de 1.0, este método divide la masa del suelo en tajadas o dovelas planteando un equilibrio de momentos y fuerzas (Suarez, 1998).
- **Métodos Numéricos:** Como representación tenemos el método de análisis por elementos finitos el cual resuelve los problemas de análisis de equilibrio límite el cual divide la masa del suelo en unidades discretas llamadas elementos finitos donde se asume una malla de elementos con sus respectivos nodos y propiedades de los materiales. Se aplica en taludes que puedan considerarse como masas continuas sin bloques logrando una evaluación general del talud (Suarez, 1998).

2.1.1.1. Método de Equilibrio Límite

Según Suarez (1998), han existido diversos autores que han estudiado el tema y han hecho sus planteamientos acerca del análisis por equilibrio límite como lo han sido Fellenius (1.927), que plantea el método más común de dovelas, con superficies de fallas circulares y equilibrio de fuerzas, usado generalmente en taludes planos con alta presión de poros pues es muy impreciso, presenta bajos factores de seguridad aunque es muy usado por su simplicidad de hacerlo. También hay otros métodos como lo son el de Bishop (1.955) que plantea equilibrio de momentos en superficies circulares también, están en el Janbú (1.968), Spencer (1.967), Morgenstern & Price (1.965), que son aplicados a cualquier superficie de falla y plantea un equilibrio de momentos y fuerzas. Los métodos de límite de equilibrio comparan las fuerzas o momentos resistentes y actuantes sobre una determinada superficie de falla y calculan un factor de seguridad.

$$F.S. = \frac{\Sigma \text{Resistencia al cortante}}{\Sigma \text{Esfuerzo al cortante}}$$

$$F.S. = \frac{\Sigma \text{de Momentos resistentes}}{\Sigma \text{Momentos actuantes}}$$

Asimismo la resistencia al corte se define como el máximo valor de esfuerzo cortante que el suelo puede soportar mientras que el esfuerzo al cortante es el esfuerzo o cargas efectivas

por el que se produce un movimiento o desplazamiento producidos por el aumento en las tensiones internas del suelo (Rojas, 2017).

Tabla 1:
Métodos de Equilibrio Límite más Usados

Método	Superficie de Falla	Equilibrio	Características
Talud Infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o Cuñas	Cuñas con Tramos Rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral Logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral Logarítmica	Fuerzas y Momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco Circular (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque, suelos cohesivos.
Ordinario o de Fellenius (Fellenius, 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop Simplificado (Bishop, 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero.
Jambú Simplificado (Jambú, 1968)	Cualquier Forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado U.S Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier Forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier Forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases.
Spencer (1967)	Cualquier Forma	Momentos y Fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier Forma	Momentos y Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier Forma	Momentos y Fuerzas	Cálculo de magnitud de coeficiente sísmico para producir falla usando dovela.

Fuente: Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M., (1996).

Para el análisis de superficie de falla circular a través de tajadas o dovelas, el número de tajadas depende de la geometría del talud y de la precisión requerida para el análisis sin embargo al momento de realizar una comparación entre los diversos métodos se concluye que no existe un método de equilibrio completo que sea significativamente más preciso que otro, es decir la diferencia entre cada uno es mínima. La dirección de las fuerzas entre partículas en estos métodos no afectan en forma importante el resultado del factor de seguridad, sin embargo los métodos de equilibrio límite presentan las siguientes limitaciones:

- Se basan solamente en la estática al no asumir deformaciones.
- Suponen los esfuerzos y cargas uniformemente distribuidas.
- Utilizan modelos de falla muy sencillos.
- Generalmente se asume el material como isotrópico.

En esta investigación se utilizará el método de equilibrio límite a través de programas computacionales el cual permite un análisis de superficie de falla circulas a través de dovelas.

2.2.3 Evaluación Geotécnica - Parámetros Usados en La Evaluación de La Estabilidad Física

Para determinar el comportamiento geotécnico de un depósito se debe tener en cuenta los parámetros físicos del componente y las coberturas, obtenidos a partir de análisis de muestras mediante ensayos de laboratorio. A continuación se describen los ensayos a realizar para las muestras de coberturas, los cuales determinan la clasificación de tipo de suelo según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y ensayo de resistencia al cortante (corte directo), comparando así la diferencia que existe en cada tipo de cobertura analizada. Los resultados para cada ensayo se determinan a través de su respectivo formato en Excel (Anexo n° 1).

a) Análisis granulométrico ASTM D422/C136

Según la norma *ASTM D422*, este análisis consiste en la separación de las partículas de suelo por rangos de tamaños mediante el uso de mallas o tamices. Mediante agitación se lleva a cabo la separación de las partículas en porciones, las cuales se pesan expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra, clasificándose en gravas, arenas y finos.

El procedimiento de este análisis comprende el análisis granulométrico para suelos gruesos y finos (*ASTM D422/C136*) en donde el material que retiene la malla N° 4 pasa a ser tamizado vía seca y el material que pasa esta malla se pesa aproximadamente 900 gr y se procede al lavado determinando así el % de muestra que pasa la malla N° 200, se clasificó a todos los tipos de suelos analizados como suelos finos. Luego del lavado el material que queda retenido pasa a ser secado en el horno a temperatura 110°C y luego se tamiza desde la malla N° 10 hasta la N° 200, obteniendo así granulometría para suelos gruesos y finos; este tipo de ensayo comprende su corrección en el contenido de humedad el cual influye al momento de realizar los cálculos.

Según el sistema SUCS, para clasificar un suelo se ha establecido la malla N°. 200 (0,075mm.) como medida divisoria en la clasificación de suelos finos y gruesos. Si en una muestra más del 50% pasa la malla N° 200 este se considera suelo fino. Los suelos a

analizar son básicamente orgánicos, caracterizándose por ser bien graduados es decir su granulometría comprende un cierto porcentaje de gravas-arena-limo-arcilla. Finalmente a través de la Figura N° 1, se representa la curva de granulométrica, para cada tipo de malla y el análisis de una muestra representativa así como el alto porcentaje de aproximación real.

Este ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Coeficiente de uniformidad
- Coeficiente de curvatura
- Porcentaje de gravas
- Porcentaje de arenas
- Porcentaje de finos
- Clasificación de suelos según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, 1952).

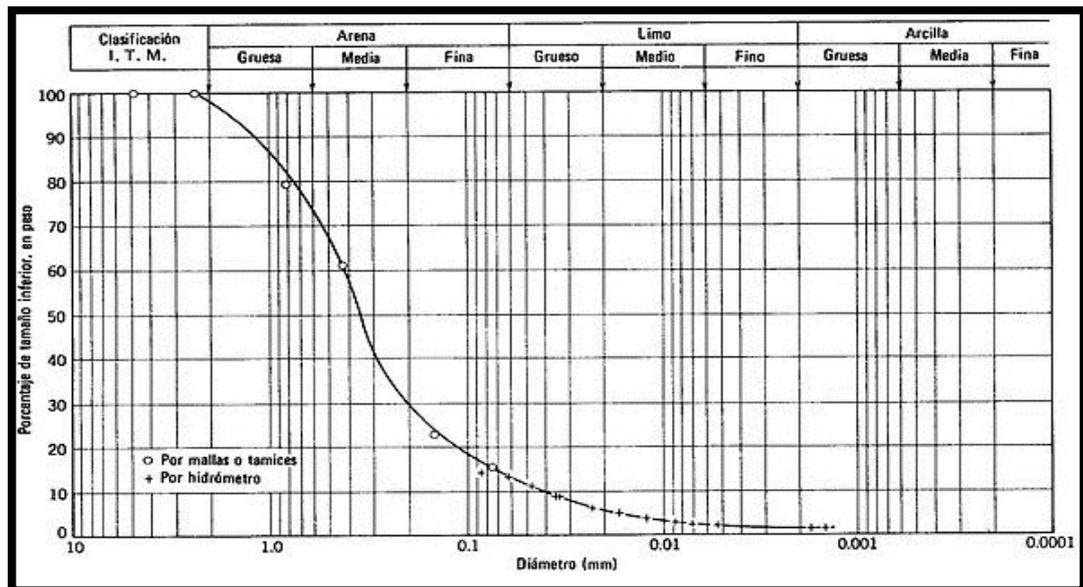


Figura 1: Curva Granulométrica (ASTM D422)
Fuente propia, 2018

b) Contenido de humedad ASTM D2216

Según la norma ASTM D2216, es la relación que existe entre el peso de agua contenida en la muestra en estado natural y el peso de la muestra después de ser secada a una temperatura entre los 105°-110°C. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este, por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica. Para obtener el contenido de humedad se aplica la siguiente fórmula:

$$W (\%) = \frac{(W1 - W2)}{(W2 - WC)} * 100$$

Donde:

W =Contenido de humedad en (%)

W1 =Masa del recipiente más muestra de humedad

W2 =Masa del recipiente más muestra seca (g)

Wc =Masa del recipiente (g)

c) Límites de Atterberg ASTM D4318

Según la norma *ASTM D4318*, son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ellos, es posible clasificar suelos finos en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En 1908, Atterberg definió que los límites de consistencia de los suelos finos, con el fin de caracterizar su comportamiento. Estos son: Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad:

El Límite Líquido (LL), se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso. Se determina el Limite Líquido como el Contenido de Humedad en Porcentaje correspondiente al corte de la línea de tendencia en los 25 golpes. Para determinar el límite líquido se toma una muestra de aproximadamente 100 gr de material pasante la malla N° 40 y se satura por 24h, luego de eso se procede a realizar el ensayo al saturar aún más la muestra a diferentes niveles de humedad. Utilizando la copa Casagrande expandimos el material en forma de media luna y se usa el acalanador para dividir la muestra en 2 partes iguales. Los números de golpes para unir la muestra dividida con el acalanador son las siguientes: 30-35, 20-25, 15-20.

El límite plástico (LP) fue definido por Atterberg (1908) como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que en laboratorio se realiza el ensayo moldeando la muestra a través de rollitos formados o amasados de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento, estos son pesados en taras e introducidos al horno a temperatura 110°C y luego pesados nuevamente al retirar las muestras del horno. La diferencia entre pesos húmedo y seco determina el LP.

Por último el índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre los valores de Límite Líquido y Límite Plástico. La clasificación del tipo de suelo se realiza a través de la figura N° 2, donde podemos determinar el tipo de suelo fino al intersectar valores de Límite Líquido (LL) y Límite Plástico. Un Índice de plasticidad bajo, indica que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo lo transforma de semisólido a la condición de líquido, resultando ser muy sensible a los cambios de humedad en cambio un índice de plasticidad alto indica mayor resistencia a la humedad, un IP alto es característico de suelos arcillosos.

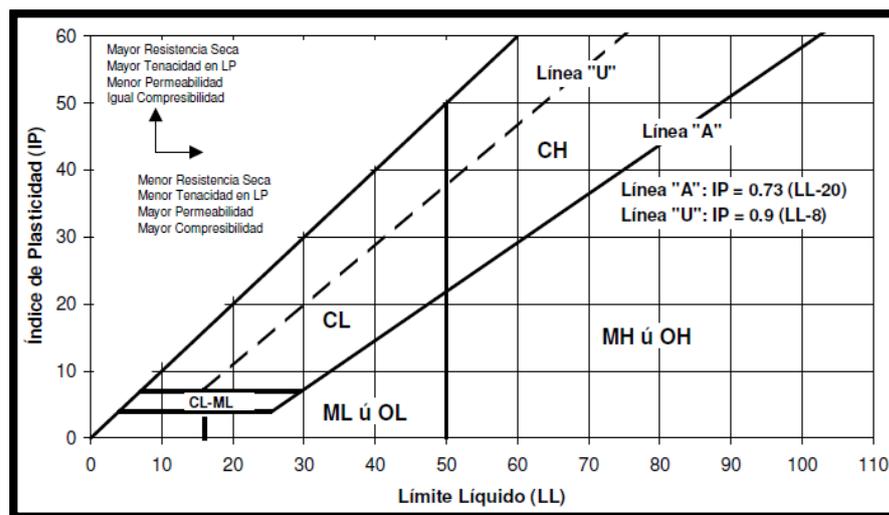


Figura 2: Carta de Plasticidad (ASTM D4318)
Fuente propia, 2018

d) Peso específico de finos ASTM D854

Según la norma *ASTM D854*, el peso específico es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada, a la misma temperatura. Mediante este ensayo se determina el peso unitario de la muestra analizada y se estima la porosidad o relación de vacíos propia de la muestra.

Para determinar el peso específico de finos se tamiza la muestra por la malla N° 40 hasta obtener una cantidad de aproximadamente 100 gr, se pesa la fiola sola y la fiola con agua a cierta temperatura hasta el nivel del menisco y finalmente se pesa la fiola con agua y muestra. La diferencia de pesos entre la fiola, el contenido de agua agregado hasta el menisco y el peso de la fiola con agua + muestra determina el peso específico del material analizado. Para obtener el contenido de peso específico de finos se aplica la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{(W_s)}{(W_s) + (W_f W) - (W_f w_s)}$$

Donde:

W_s = Peso muestra seca

Peso fiola + agua hasta marcar 500 ml: W_{fw}

Peso fiola con muestra luego de retirarla de la bomba de vacíos + agua hasta marcar 500 ml = W_{fws} .

e) Ensayo de corte directo ASTM D3080

Según la norma *ASTM D3080*, la prueba es llevada a cabo por la deformación de un espécimen a una velocidad de deformación controlada o próxima a un plano de corte simple, determinado por la configuración del equipo. Para realizar este ensayo se toman generalmente tres especímenes o muestras de un mismo tipo de suelo (Figura N° 3), cada uno sometida bajo una carga normal diferente obteniendo así una gráfica de esfuerzo de corte vs esfuerzo normal. Se determina los efectos sobre la resistencia al corte y desplazamiento y propiedades de resistencia cortante mediante la envolvente de resistencia de Mohr - Coulomb. Con este ensayo se obtienen valores de cohesión y ángulo de fricción interno en condiciones drenadas (suelos finos) que son parámetros de resistencia al cortante y que predicen el comportamiento del material a analizar a continuación presentamos un ejemplo donde se representa valores cohesión=0 y fricción interno= 32.2°, valores propios de un material gravoso. Los resultados de este ensayo para esta investigación se encuentran en el anexo n° 2.

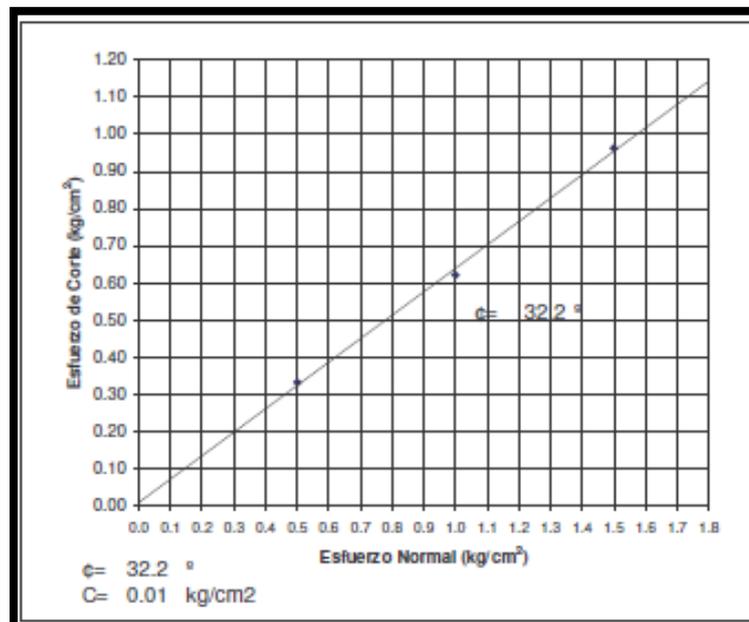


Figura 3: Esfuerzo Normal vs Esfuerzo de Corte (ASTM D3080)
Fuente propia, 2018

2.2.4 Métodos de Cierre de Depósitos

Los sistemas de cierre de depósitos generadores de drenaje ácido tienen como principal objetivo encapsular el material mediante una única o varias capas de diferentes materiales de modo a disminuir o impedir la infiltración de agua y/o la entrada de oxígeno y consecuentemente, la oxidación de sulfuros (Lottermoser, 2010). Además, la cobertura aplicada en el cierre tiene el fin de aumentar la estabilidad física del depósito y disminuir el impacto paisajista.

2.2.5 Coberturas Mediante Tecnosoles

Los Tecnosoles, según la Base Mundial de Referencia de los Recursos de Suelo del Mundo (WRB, 2007), comprenden suelos cuyas propiedades y edafogénesis (proceso y formación de los suelos) están dominadas por su origen técnico. Por definición este tipo de coberturas contienen una cantidad significativa de artefactos (algo en el suelo reconociblemente hecho o fuertemente alterado por el hombre), o están sellados por material duro técnico (material duro creado por los seres humanos que tiene propiedades diferentes de la roca natural) o contienen una geomembrana. Incluyen suelos originados sobre desechos (vertederos, lodos, escorias, desechos o escombros de minas y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembrana y suelos construidos artificialmente. Los Tecnosoles se denominan a menudo de modo vulgar como suelos urbanos o suelos de minas.

Santos, Arán, Abreu y Varennes, (2018) consideraron que las actividades mineras y de canteras se han llevado a cabo desde la antigüedad. Aunque en diferentes niveles, tanto las minas abandonadas como las activas tienen varios problemas ambientales asociados con la excavación del suelo y las características físico-químicas de los desechos de la mina y sus lixiviados. Los impactos ambientales son muy variables pero, en general, conducen a la degradación de suelos y aguas (por ejemplo, pérdida de la estructura y fertilidad del suelo, acidificación / alcalinización, contaminación por elementos potencialmente peligrosos y disminución de la biodiversidad). La rehabilitación de las áreas mineras es esencial para disminuir los impactos ambientales y debe incluir enfoques ecológicos y consideraciones económicas y para este caso de estudio teniendo como principal alternativa el uso de Tecnosoles que demuestra que efectivamente cumplen funciones a nivel físico, permitiendo una mejor estabilización del depósito Turmalina.

Los Tecnosoles usados en la unidad Minera La Zanja fueron diseñados por INPROYEN CONSULTING SAC específicamente para mejorar características físicas, químicas y biológicas del DMI Turmalina, el cual alcanza un área aproximada de 4.7 ha. Estos Tecnosoles son derivados de residuos/materiales agro-industriales y del proceso minero.

2.3 Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

Se estima que el depósito de Turmalina tendría una mejor estabilidad física utilizando una cobertura Tecnosoles, debido a sus características físicas como mayor densidad en campo, menor grado de saturación interno (in situ), además de un mayor grado o índice de plasticidad permitiendo una mejor compresibilidad, menor deformabilidad y mayor adhesión entre sus partículas favoreciendo ante posibles condiciones adversas como posibles, agrietamientos o efectos de erosión. Estos parámetros mencionados asegurarían una menor infiltración o una infiltración homogénea, reduciendo las tensiones de saturación internas del depósito, evitando así posibles deslizamientos o superficies de falla.

2.3.2. Hipótesis específicas

1. Las características geomecánicas presentes en el DMI Turmalina, generalmente constituido por material inadecuado, el cual según sus parámetros es representado por material gravoso (suelos no cohesivos) que junto con la geometría del depósito y el nivel de compactación influyen en la estructura y comportamiento del depósito, estas condiciones facilitan los niveles de infiltración, lo que puede originar inestabilidad en el depósito.
2. Las características geotécnicas de cada tipo de cobertura presentan variación en sus parámetros, esto influenciado según la variación de los diferentes tipos de materiales o ingredientes que lo conforman, obteniendo distintos parámetros de resistencia así como de contenido de humedad, densidad, plasticidad y peso unitario. Los parámetros de cada cobertura varían en condiciones de apilamiento (sin compactar) y por ende responderán de forma diferente ante condiciones de esfuerzos externos; se estima que los Tecnosoles presentarán mejores parámetros físicos permitiendo una menor infiltración u infiltración homogénea sobre el depósito y por ende mejor estabilidad en el depósito a diferencia del top soil.
3. Las coberturas de Tecnosol permitirán un menor grado de saturación interna o menor permeabilidad, mayor resistencia a la deformabilidad, permitiendo mayor resistencia ante efectos de erosión. Al presentar menor porosidad y mayor plasticidad permitirá un mayor nivel de escorrentía superficial o flujo laminar ante fuertes lluvias lo que favorecerá a una menor infiltración y una mejor estabilización física del depósito demostrado a través de un mayor factor de seguridad.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Unidad Minera La Zanja

3.1.1. Ubicación

La unidad minera La Zanja, está ubicado en el Distrito de Pulán, Provincia de Santa Cruz de Succhabamba, en la región suroeste del Departamento de Cajamarca. El área de operaciones de La Zanja comprende las zonas altas del distrito de Pulán, a una elevación que varía entre los 2 800 msnm y 3 620 msnm, el límite con el distrito de Catache de la misma provincia de Santa Cruz, y el límite con el distrito de Catilluc de la provincia de San Miguel.

Dentro de la Unidad Minera La Zanja el Depósito de Material Inadecuado Turmalina, área de estudio, corresponde al cuadrángulo de Cajamarca (14-f3) y se ubica en la margen derecha del curso superior de la quebrada El Cedro. Está comprendida entre las coordenadas UTM 9 244 900 N – 732 100 E y 9 244 400 N – 732 400 E, con altitudes entre los 3 480 msnm y 3 520 msnm (Anexo 4).

Tabla 2:
Coordenadas del área de estudio

Vértice	Este	Norte
1	731780	9244550
2	732190	9244550
3	732190	9244000
4	731780	9244000

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.1.2. Clima y Vegetación

El clima en la región es sub-húmedo, con inviernos secos y veranos con intensas lluvias de noviembre a abril y neblina permanente durante casi todo el año. Las temperaturas máximas oscilan entre 21.2° C y 22° C y las temperaturas mínimas oscilan entre 4.9° C (normales climatológicas de la estación Augusto Weberbauer, 1981-2010, SENAMI, s.d). Las precipitaciones anuales alcanzan los 982mm, con un pico de 130 mm en marzo y un mínimo de 18 mm en julio (normales climatológicas de la estación Quebrada Shugar 1981-2010 SENAMHI s.d).

La vegetación en la parte baja de los valles es variada, tornándose tupida y boscosa en la quebrada El Cedro; en las partes altas es escasa e incipiente, predominando el ichu y pinos, los cuales son implementados por la Minera La Zanja (Knight Piésold, 2014). El área del sitio presenta una fisiografía compleja, conformada por numerosas quebradas cuyas laderas presentan gradientes pronunciadas y espacios relativamente planos ubicados en las zonas

altas por encima de los 3 500 msnm, que se conocen como superficie de Puna (Knight Piésold, 2014).

Particularmente en el área de estudio DMI Turmalina, una vez terminado el cierre mediante las coberturas con Tecnosol la vegetalización sugerida por INPROYEN Consulting S.A.C e implementada fue mediante especies herbáceas de crecimiento rápido (ej. trébol y ray grass así como de especies herbáceas y arbustivas nativas de la zona (ej. ceticio, chinchango y quinales).

3.2 Métodos de Investigación

3.2.1. Hidrología

Regionalmente la Quebrada Bancuyoc está ubicado en un acuífero volcánico sedimentario, en la subcuenca del efluente del mismo nombre de la Cordillera Oriental de la provincia de Santa Cruz, teniendo como nacimiento en la parte superior por la unión de estos dos afluentes: la Quebrada Bancuyoc en la cota 3570 msnm. Luego aguas abajo formando la Quebrada Bancuyoc en el distrito de Bancuyoc (como nacimiento), con orientación NW confluyendo con el río Del Cedro con la cota 2700 msnm con orientación NE desembocando dichas aguas en el Océano Atlántico. (Ausenco, 2016).

3.2.2. Geología

En el área del proyecto minero La Zanja presenta afloramientos de rocas de origen volcanoclásticas, que consisten en una secuencia de tufos, tobas y lavas, de naturaleza andesíticas, dacíticas y riolíticas, pertenecientes a las formaciones Llama y Porculla. Las edades geológicas de estas rocas varían entre el Eoceno Superior al Mioceno Superior (Knight Piésold, 2014).

En los alrededores del área del proyecto, existen también cuerpos subvolcánicos asociados con un evento volcánico-magmático contemporáneo a los depósitos piroclásticos (Knight Piésold, 2014).

Sobre la secuencia volcanoclástica e influenciado por los cuerpos subvolcánicos, se han desarrollado yacimientos metálicos, como el de San Pedro Sur, definido como un epitermal tipo "High Sulfidation". Este tipo de yacimiento, se caracteriza por presentar un zoneamiento marcado de alteración hidrotermal, de silicificación en la parte central y gradación a rocas argílicas hacia los bordes (Knight Piésold, 2014).

Estas rocas parcialmente se encuentran cubiertas por depósitos cuaternarios y depósitos antropogénicos. Los depósitos cuaternarios consisten de materiales coluviales y deluviales. Mientras que los depósitos antropogénicos están conformados por material de relleno y corte de carretera, como también estructuras anexas (Knight Piésold, 2014).

La Zanja se encuentra emplazada, sobre una sub-estructura y domo andesítico, gris verdoso, porfírico, cristales de plagioclasas y anfíboles; y una alteración hidrotermal. Perteneciente al Cenozoico – Neógeno del Grupo Calipuy. La litología predominante en el área de estudio estaba conformada por tufos y lavas de la Formación Llama de edad Mioceno superior al Plioceno tardío; instruidas por domos subvolcánicos. Litológicamente, consisten de tufos de clastos polimícticos, angulosos a subredondeados de naturaleza andesítica a dacítica, lavas andesítica porfíricas a afaníticas, grises a plomizos, y tufos piroclásticos, e instruidas por domos sub-volcánicos, afectados en general por una fuerte alteración hidrotermal, con zonas de alteración mayormente argílica avanzada y silicificación (Knight Piésold, 2014).

Los rasgos estructurales principales delineados en el área de estudio se ubican en el sector central y norte, y corresponden a fallas locales de rumbo andino NO-SE y fallas transversales de rumbo E-O. No se ha reportado evidencias de fallas activas en el área de estudio. Se han identificado dos sistemas de fallas de carácter local. Estos sistemas de fallas fueron definidos con el mapeo geológico de superficie y el procesamiento de la base de datos con el programa DIPS, las cuales son:

- Sistema 1: Rumbo N 79°E y buzamiento 84°SE
- Sistema 2: Rumbo N 52°W y buzamiento 55°SW

El área de fundación del DMIT proyectado, corresponde a un tajo donde existía una yacimiento de tipo epitermal de alta sulfuración con un zoneamiento marcado y definido por PIMA (Miranda, 1999), de silicificación en la parte central y alrededores, variando a argílica avanzada (cuarzo-alunita-caolinita; cuarzo-dickitaalunita y cuarzo-caolinita-alunita) y gradando hacia argílica intermedia (cuarzo-illita-smectita) y argílica en los bordes (caolinita-illita y illita-smectita-sericita) (Knight Piésold, 2014).

3.2.3. Geomorfología

Geomorfológicamente, el área del Proyecto La Zanja forma parte del contrafuerte occidental andino del norte del Perú, en el sistema de drenaje de aguas que vierten hacia el Océano Pacífico. El área donde se encuentra La Zanja presenta una orografía compleja, conformada por laderas con gradientes pronunciadas y superficies planas a onduladas relativamente ubicadas en las zonas altas, en un sistema estructurado de forma exclusiva.

El proyecto desarrolla sus operaciones en la parte alta de esta formación orográfica, la cual se extiende entre los 2 800 y los 3 811 msnm, en dos áreas laterales superiores denominadas San Pedro Sur y Pampa Verde. La geomorfología local del área del proyecto corresponde a planicies altas tipo “superficie puna” ubicadas sobre los 3 500 msnm, de pendientes relativamente bajas que varían entre 6% y 12%. Estas planicies se presentan rodeadas por cerros accidentados, donde se observan afloramientos rocosos de estribaciones moderadas y laderas de pendientes medias a empinadas, modeladas por varias etapas de erosión y la alteración hidrotermal in-situ en las rocas (Knight Piésold, 2014).

La morfología local obtenida del modelamiento para el cierre de minas del botadero, se ubica en el DMI Turmalina que tiene un área aproximada de 4.7 ha (47630 m²), estando conformado por dos frentes notoriamente definidos: el oeste por una ladera pronunciada donde destacan promontorios rocosos aislados, y hacia el este por una ladera suave, extensa, disectada por un drenaje incipiente, configurando geoformas antrópicas por el diseño geométrico del botadero como: bermas, altura de banco, quebraduras, ángulo de talud, ángulo final, etc.

3.2.3.1. Relieve

La geomorfología local a su vez estudia las formas de relieve del depósito, en donde según Van Zuidam (1986), el grado de inclinación guarda relación con la capacidad de infiltración, a continuación se realiza la clasificación de pendientes:

- **Pendiente Baja**

Esta clase de pendiente está ubicada sobre todo en las bermas del botadero (visualizada en la parte céntrica y W) con variaciones de pendientes: 0° - 8°, presentando superficies ligeramente ondulada a planas, de poca erosión, representan un porcentaje total del 13.7% de toda el área del depósito. Siendo en su gran magnitud una de las menores áreas de extensión que conforma este botadero.

- **Pendiente Moderada**

Lo conforman los taludes con rangos de pendientes: 8° - 16°, representando un total del 13.7% de toda el área del depósito.

- **Pendiente Fuerte**

Se ubican sobre todo la zona norte, abarcando la menor área del depósito, conformando un porcentaje de 32.5% representando un área considerable en relación al resto de unidades geomorfológicas, con rangos de pendiente 16° a 35°. Acotando que tiene

inspecciones más progresivas por las constantes lluvias que van erosionando, por no presenta una compactación adecuada la zona de coberturas en toda esta superficie.

- **Pendiente Muy Fuerte**

Conforman el porcentaje mínimo del 40.1%, sólo estando ubicadas en las zonas de contornos de diseño del botadero, con rangos de pendiente que oscilan entre los 35° a 58°, teniendo en cuenta que este último valor es el máximo que se registra en el depósito según su topografía. Sobre todo estas áreas los componen zonas rocas empinadas, teniendo controles paulatinos de su generación geodinámica.

Tabla 3:
Clasificación de Pendientes según Topografía

Tipo de Pendiente	Pendiente	Área (m ²)	%
Pendiente Baja	0 – 8	6 520	13.7
Pendiente Moderada	8 – 16	6 520	13.7
Pendiente Fuerte	16 – 35	15 500	32.5
Pendiente Muy Fuerte	35 – mayor	19 090	40.1
Total		47 630	100

Fuente: Elaboración propia, 2018

Se detalla una mejor distribución de los rangos de pendiente (anexo 4 – plano de pendientes), basado en los rangos que presenta el DMI Turmalina según su topografía y por ende una mejor diferenciación.

3.2.4. Litología

Antes de disponer material inadecuado, es decir en la zona de basamento rocoso la cual estaba comprendida por Tufos cristalolíticos, afloran extensamente en el área del DMIT. Compuestos de tufos moderadamente soldados que presentan fragmentos líticos de diferente tamaño y cristales de cuarzo en una matriz generalmente silicificada. Su composición varía de tufos dacíticos a riodacíticos. Tufos ignimbríticos, afloran en el sector norte y noreste del yacimiento de San Pedro Sur, son de composición andesítica a dacítica, presentan textura fiámic y porfirítica; existen delgados horizontes de tufos de lapille intercalados con éstos. El bandeamiento de flujo observado es generalmente hacia fuera del borde de la depresión de la caldera. Por lo general se presentan menos alterados que el resto de la secuencia. Se han reconocido rocas de facies intra caldera en el yacimiento. Al noreste cerca al cerro Chinchimal, se presentan rocas laminares de chert silíceo. Además, la secuencia de brechas de flujo y depósitos de avalanchas que ocurren en la depresión tectónica, identifican claramente a esta secuencia (Knight Piésold, 2014).

3.2.5. Mapeo Geotécnico

El DMI Turmalina presenta un relieve suave a moderado, con pendientes generalmente hacia el NW - W. Litológicamente el depósito está constituido por material inadecuado conformado por: gravas, gravas limosas a arcillosas y lentes de limo orgánico, sueltas a medianamente densas, húmedas, bolones, bloques angulosos a subangulosos con estructura irregular. El dique está emplazado en una estructura subvolcánica (domo andesítico) como basamento, presentado condiciones geotécnicas de buenas a regulares para su construcción del dique (Ausenco, 2016).

Se ha definido dos unidades geotécnicas:

- **Unidad Geotécnica I - Depósitos coluviales/deluviales:** Consiste de grava mal gradada con limos, arcillas y bolones (GP-GM), de plasticidad baja a media, suelta a medianamente densa, húmeda, gris claro a marrón claro. Presenta gravas de tamaño máximo 3", bolones de tamaño máximo 12" y bloques aislados de tamaño máximo 45". Los materiales tienen espesores variables entre 0,50 y 1,50 m. Esta unidad se distribuye aproximadamente en un 10% en los alrededores del sector Turmalina.
- **Unidad Geotécnica II – Basamento Rocoso:** Esta unidad aflora en un 90% del área de fundación del DMIT proyectado, y su litología consiste de tufo cristalolítico y en menor proporción por andesita, en su conjunto se presenta de ligera a moderadamente meteorizado, de resistencia media a alta (36 a 100 MPa) y fracturada. Los valores de RQD (Rock Quality Designation), varían de Mala a Buena (25% a 75%) estimado según la frecuencia de fracturas por metro lineal. La resistencia a la compresión simple estimado según los ensayos con el martillo de Schimdt es variable entre 36 y 100. RMR medido en bancos varía entre 48 a 59, indicando basamento rocoso de calidad regular.

3.3 Características geotécnicas de los materiales del depósito

3.3.1. Calicatas

El programa de investigación de campo se realizó mediante calicatas elaborando 5 calicatas convenientemente ubicadas y distribuidas dentro del área de interés, con la finalidad de evaluar las condiciones geotécnicas del material inadecuado. Adicionalmente se ejecutó una calicata en el área del Pad 1B Fase 1, esto para muestrear el tipo de material inadecuado que se dispondrá en el DMI Turmalina. En cada una de las calicatas se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos estratigráficos encontrados.

Las calicatas fueron realizadas de forma mecánica con excavadora hasta una profundidad máxima de 5 m. Se presenta un resumen de los ensayos índice de laboratorio para cada calicata realizadas (Tabla n° 5).

Tabla 4:
Distribución de Calicatas del Área de Investigación

Ejecutado	Código de Calicata	Coordenadas UTM		Profundidad Total (m)
		Norte	Este	
DMI TURMALINA	TP_LZ16-101	9244211	731591	5,00
	TP_LZ16-102	9244288	731972	5,00
	TP_LZ16-103	9244338	732031	1,70
	TP_LZ16-104	9244409	732011	5,00
Pad 1B Fase 1	TP_LZ16-108	9244140	733028	3,00

Fuente: Elaboración propia, 2018

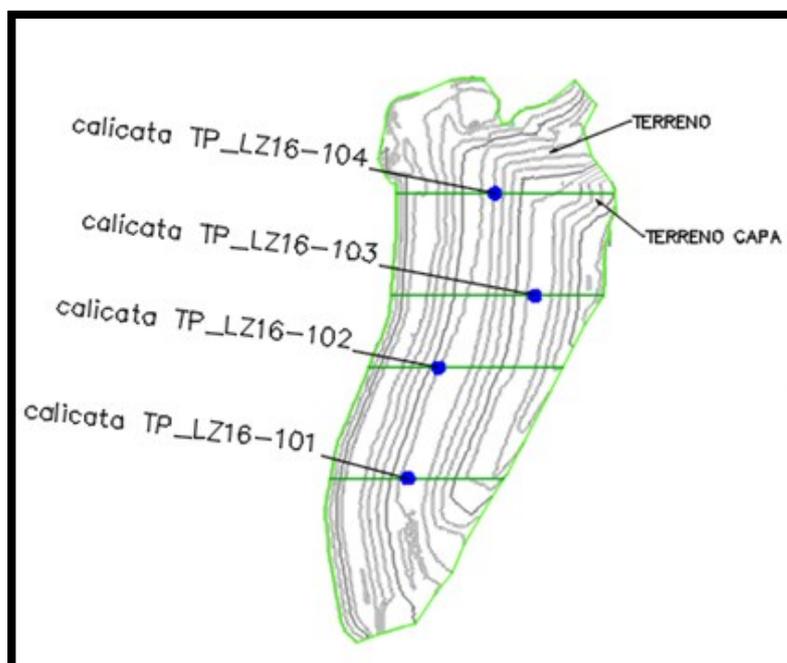


Figura 4: *Distribución de Calicatas del Área de Investigación,*
Fuente propia, 2018

3.3.2. Ensayos índices de laboratorio para material inadecuado

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo y roca obtenidas durante la investigación geotécnica de campo, ayudaron a definir las propiedades geomecánicas a emplear en el análisis de estabilidad. Estos ensayos fueron complementados con la información obtenida del estudio depósito de material inadecuado en Tajo San Pedro Sur (Ausenco, 2016).

Los ensayos se realizaron siguiendo las Normas ASTM que a continuación se describen:

Ensayos Índices de Mecánica de Suelos para material inadecuado:

- Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D-422
- Límites de Atterberg, ASTM D-4318
- Contenido Natural de Humedad, ASTM D-2216
- Peso Específico de agregado grueso, ASTM C 127

Tabla 5:*Propiedades Físicas de Calicatas del Depósito (Ausenco, 2016)*

Calicata	Profundidad (m)	Espesor (m)	W (%)	γ (gr / cm ³)	Límites de Consistencia			Granulometría			SUCS
					LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	
TP_LZ16-101	0.80 - 5.00	4.20	8.10	18.00	31.00	19.00	12.00	64.00	19.00	17.00	GC
TP_LZ16-102	2.20 - 5.00	2.80	7.80	18.00	31.00	20.00	11.00	67.10	15.60	17.3	GC
TP_LZ16-103	0.00 - 1.70	1.70	110.10	18.00	105.00	31.00	34.00	5.30	3.40	91.3	MH
TP_LZ16-104	0.00 - 5.00	5.00	13.10	18.00	40.00	26.00	14.00	59.70	19.70	20.6	GM
TP_LZ16-108	---	---	17.00	18.00	39.00	22.00	17.00	5.90	78.00	16.1	SC

Fuente: Ausenco, 2016

- Se evidencia una profundidad máxima de muestreo de 5 m.
- El contenido de humedad, índice de plasticidad y clasificación granulométrica varía para la calicata TP_LZ16-103, considerándose suelo fino de baja permeabilidad.
- El depósito en general está conformado por material heterogéneo (suelos gruesos y finos), conformado principalmente por material gravoso, considerándose como un material anisótropo, siendo una de las principales características de este tipo de suelos la alta capacidad de infiltración vertical.

3.3.3. Propiedades de resistencia del DMI turmalina

Las propiedades de los materiales fueron obtenidas en base a ensayos de campo y laboratorio realizados en la empresa. Para la elaboración del modelo geotécnico fue necesario realizar una correcta evaluación de las propiedades de los materiales involucrados, basándose en las diferentes condiciones a las que estarán expuestas en el tiempo. Según el análisis de estabilidad del DMI Turmalina elaborada por la consultora Ausenco, se determinó parámetros de resistencia que representarán los diferentes tipos de material que conforman el depósito (tabla N° 6) según criterio profesional, determinando así los siguientes parámetros de resistencia como son su cohesión y fricción interna; una cohesión = 0 representa un material gravoso.

La siguiente tabla muestra un resumen de los parámetros geotécnicos.

Tabla 6:
Materiales que conforman el depósito DMI Turmalina (Ausenco, 2016)

Material	γ_s Total (kN/m ³)	γ_s Sat. (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Angulo de Fricción (°)
Material Inadecuado	18	19	0	25
Dique Existente (Relleno Estructural)	20	21	5	36
Relleno Masivo	20	21	0	38
Basamento Rocoso	24	25	150	30

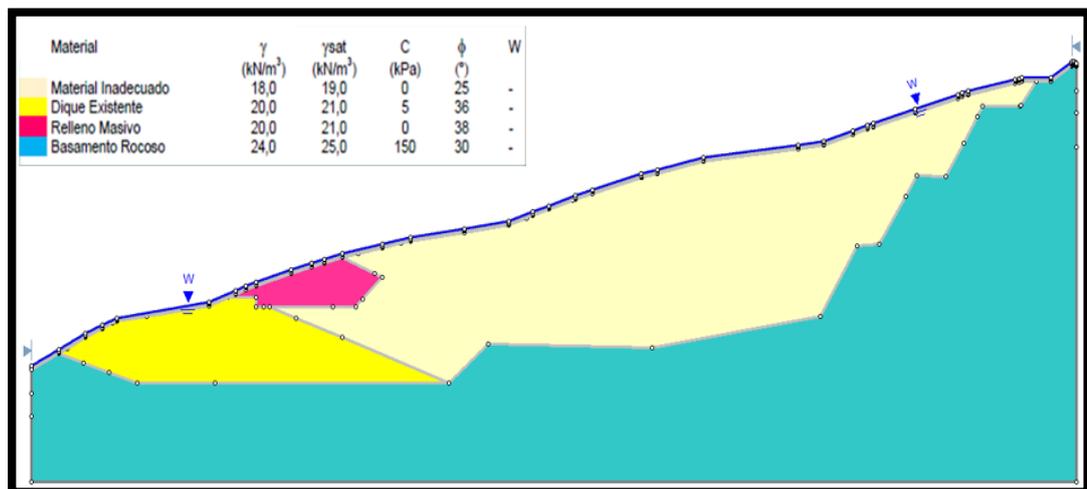


Figura 5: Conformación de los diferentes tipos de materiales que definen el área de estudio – DMI Turmalina.
Fuente propia, 2018

3.3.4. Ensayos índices de laboratorio para coberturas

Los ensayos se realizaron siguiendo las Normas ASTM en las instalaciones de la Unidad Minera La Zanja – Laboratorio Bisa y el ensayo de corte directo en el laboratorio Urteco – Cajamarca, a continuación presentamos los resultados de los ensayos índice de suelos obtenidos para cada tipo de cobertura.

Ensayos Índices de Mecánica de Suelos:

- Análisis granulométrico por tamizado, ASTM D-422
- Límites de Atterberg, ASTM D-4318
- Contenido Natural de Humedad, ASTM D-2216
- Peso Específico de Finos, ASTM D 854
- Ensayo de Corte Directo ASTM D3080-90

Teniendo en cuenta estos ensayos de laboratorio según su norma técnica, se puede determinar el siguiente comportamiento característico de suelos finos:

- Los resultados para el ensayo de contenido de humedad (%), corresponderán al muestreo realizado el mismo día, bajo las mismas condiciones climáticas.
- Un menor peso específico indica un mayor índice de vacíos o mayor porosidad en el suelo.
- Un mayor IP indica mayor resistencia seca, mayor resistencia a la deformabilidad, menor permeabilidad, mayor tenacidad en el límite plástico.
- La granulometría representa suelos finos, tanto para Tecnosoles y Top soil, cuya composición en el contenido de grava, arena y finos representa a un material bien graduado.

3.3.5. Propiedades de Resistencia para Coberturas

El ensayo más común para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos es el ensayo de Corte Directo ASTM D3080, el cual es simple y económico de realizar pero a diferencia de los ensayos triaxiales presenta inconvenientes del poco control que se tiene sobre las condiciones de drenaje, la dificultad para medir presiones de poro y algunos problemas inherentes a los mecanismos de las máquinas que realizan los ensayos.

Las ventajas de los ensayos de Corte Directo son su facilidad de ejecución, la cual permite la realización de una cantidad grande de pruebas en poco tiempo y la posibilidad de realizar ensayos sobre superficies de discontinuidad. El ensayo de Corte Directo es de *obligatorio* uso cuando se trabaja a niveles *bajos de esfuerzos* o si se desea obtener la resistencia a lo largo de las discontinuidades (Suárez, 1998)

Se dispuso las diferentes coberturas sobre el depósito a través de tendido natural (sin compactar) y se cercó toda el área del depósito para que no haya accesos para vehículos, indicando bajos niveles de esfuerzos al no aplicar cargas una vez tendido los Tecnosoles. Sobre las coberturas solo se realizarán actividades de revegetación produciéndose una compactación natural a través del tiempo.

El ensayo de corte directo ASTM D3080-90, se realizó en Laboratorios Urteco – Cajamarca, donde se requirió una muestra representativa para cada tipo de cobertura, esto debido a que el material se encontraba en condiciones naturales (sin compactar). Es necesario contar con los parámetros in situ obtenidos mediante el densímetro nuclear, los valores de densidad (WD) y % humedad en campo que permitirán moldear la muestra a ser ensayada por el equipo de corte directo. Se obtiene un análisis más detallado acerca de los parámetros de resistencia para cada tipo de cobertura obtenidos a través de este ensayo en el anexo n° 2.

3.3.6. Topografía

La topografía del DMI Turmalina (Ausenco, 2016) representada a través de curvas de nivel de la superficie presenta 3 bancos o niveles y en la parte baja un dique de retención que en su totalidad comprenden un área 4.7 ha, la separación entre bancos o comúnmente denominado berma presenta un ancho de 12 m. Existen una serie de puntos de control que permitieron actualizar el nivel de superficie según el diseño inicial. Cada zona cumple con los requisitos de diseño del depósito según sus características como ancho de banco, altura de banco, berma, parámetros de resistencia, tipo de material, grado de compactación, etc; lo que permitirá considerar la estructura proyectada como estable.

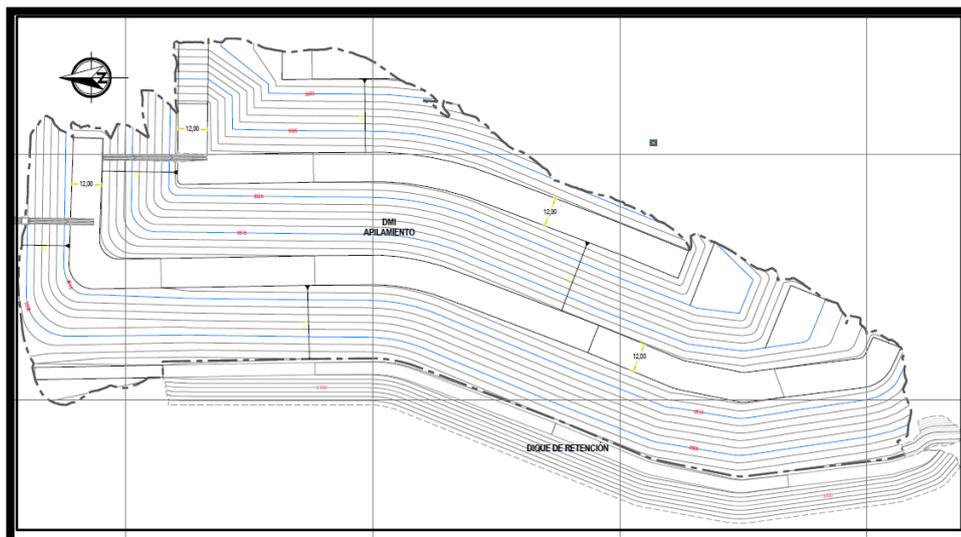


Figura 6: Topografía del DMI Turmalina
Fuente propia, 2018

A partir de la topografía del DMI Turmalina, determinamos la ubicación de las calicatas codificadas y realizamos cortes de perfil a lo largo del depósito para determinar las secciones a analizar, con la finalidad de encontrar la sección crítica o zona representativa con mayor altura o pendiente, a partir de esta zona se realizará el análisis a través del software Slide 6.0.

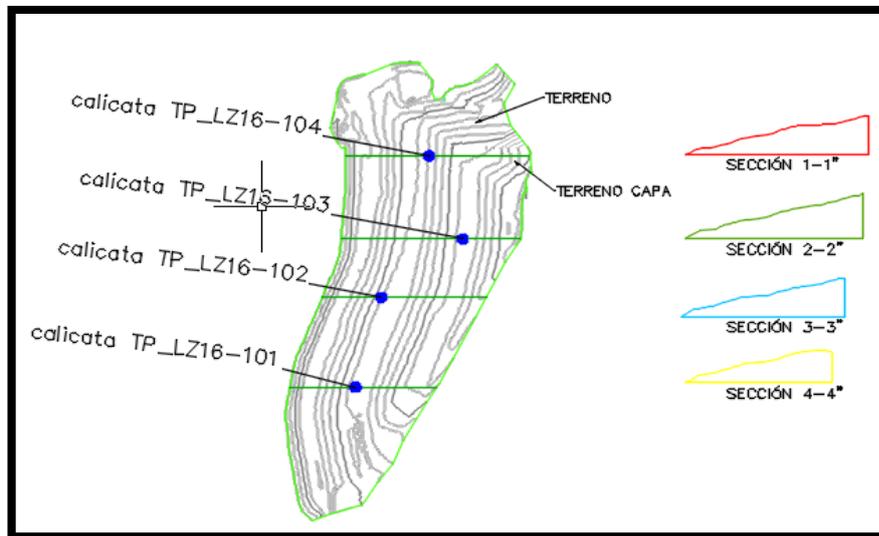


Figura 7: Secciones a lo largo del DMI Turmalina
Fuente propia, 2018

3.3.7. Análisis de Estabilidad con Slide 6.0

El análisis geotécnico de diseño de estabilidad del DMI Turmalina está supeditado al tipo de coberturas a depositar superficialmente sobre el depósito para mejoramientos de estabilización y remediación, evitando sesgos como: erosión, superficies de fallamiento, generación de cárcavas, etc. Para un análisis integral del depósito, este debe comprender la evaluación tanto del depósito como de las coberturas, lo que permitirá determinar la diferenciación existente entre los diferentes tipos de coberturas. Para la validación de este análisis se utilizó el software SLIDE V6,0, permitiendo desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades tanto de los materiales que conforman el depósito como de las coberturas de manera muy confiable. El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo de manera bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación 2D.

Según la descripción sobre las funciones del software a utilizar, la empresa fundadora (Rocscience, 2010) concluye que dentro de los programas más utilizados para el cálculo de los factores de seguridad se encuentra el software Slide 6.0, el cual se basa principalmente en el uso del método de equilibrio límite y permite modelar suelos uniformes, heterogéneos y muy heterogéneos, con superficies geométricas complejas y con presencia de nivel freático. El software sólo aplica análisis de equilibrio límite, teniendo algunas limitaciones las cuales están relacionadas principalmente porque no tienen en cuenta las *deformaciones*, como los

métodos de equilibrio límite se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones en muchos casos no son realistas (Rocscience, 2010).

La estabilidad de sistemas (ej. taludes y depósitos) se calcula mediante un análisis de tipo equilibrio límite que comprende un análisis de superficie de falla tipo circular basado en análisis mediante dovelas. El comportamiento de los materiales es modelado bajo el criterio de Mohr – Coulomb para el análisis de suelos; este software realiza análisis del tipo estático y pseudoestático, este último considera aceleraciones máximas, lo que permite determinar coeficientes de sismicidad verticales y horizontales, tanto el análisis estático como pseudo-estático permite calcular el factor de seguridad resultante mediante los métodos de Bishop Modificado, Spencer, Fellenius, Janbu entre otros siendo mínima la diferencia entre cada uno debido a la variación en las consideraciones de análisis, existe una serie de métodos (tabla 1), pero el software solo nos permite el uso de los métodos ya mencionados por ser los más representativos.

La superficie de falla crítica (falla local) es definida como aquella zona delimitada de interés de análisis y es encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de la misma evaluándose superficies de falla del tipo circular, generalmente se realiza a las zonas con mayor pendiente.

La evaluación del F.S se realiza a través de un análisis de superficie de falla del terreno de tipo circular a través de dovelas, de esta manera el problema se aborda bidimensionalmente, tomando una sección transversal representativa del Talud y dividiéndola en franjas o dovelas del mismo tamaño, a cada dovela se le analiza su nivel de estabilidad a través de sus esfuerzos normales y momentos lo que permite concluir acerca de la seguridad global del talud. Los diversos métodos de análisis (tabla 1) de tipo superficie de falla circular al dividir el círculo de análisis en tajadas o dovelas verticales, obteniendo fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y la sumatoria de momentos (figura 12), el software Slide 6.0 presenta una serie de métodos los cuales vienen a ser los más representativos, para este caso de análisis se clasificándose en:

- **Métodos Aproximados**

- Método de Bishop Simplificado: Este método tiene en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas, estas fuerzas son horizontales es decir no considera las fuerzas de cortante. Sólo satisface el equilibrio de momentos, presentando resultados muy precisos.
- Método de Janbu Simplificado: Las fuerzas entre dovelas son horizontales y no tiene en cuenta fuerzas de cortante. Satisface solo equilibrio de fuerzas más no equilibrio de momentos.

- Método Ordinario o de Fellenius: Este método solo satisface equilibrio de momentos con respecto al centro del círculo mas no satisface equilibrio de fuerzas ya que se desprecian las fuerzas entre dovelas, solo se obtiene fuerzas actuantes y resultantes para cada dovela.
- **Métodos Exactos**
 - Método de Spencer: Satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos, supone que las fuerzas entre dovelas son paralelas las unas con las otras o que tienen el mismo ángulo de inclinación.

3.4 Operacionalización de Variables

La Operacionalización de las variables se muestra en el siguiente cuadro, cada una cumpliendo con las condiciones a evaluar sea dependiente e independiente así como las condiciones que se deben obtener de laboratorio como de campo.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dependientes			
Análisis Comparativo de uso de Tecnosol y Top Soil	Tiene como objetivo hacer una diferencia entre coberturas, determinando sus parámetros físicos y de resistencia a través de ensayos de laboratorio; demostrando la diferencia que existe básicamente en el nivel de infiltración y la resistencia al desplazamiento, y por ende una mejora en la estabilización física del DMI Turmalina.	Tecnosoles y top soil	Granulometría
			% Humedad
			Plasticidad
			Densidad
			Peso Especifico
			Resistencia al cortante
Independiente			
Estabilidad Física	Permite determinar la estabilidad de un talud a partir de sus parámetros de campo y su geometría, a través de modelamiento mediante software el cual permite realizar un análisis variado a través de diferentes condiciones o escenarios con la finalidad de conseguir un talud final económico y seguro.	Factor de Seguridad	Tensiones Totales
			Tensiones Efectivas
			Tensiones Efectivas + Sismicidad

3.5 Diseño de Investigación

La investigación cumple con los términos metodológicos de: campo y gabinete; definiéndose como investigación de tipo Cuasi experimental, por el enfoque que se está brindado a esta investigación. Contrastando que tiene fundamentos de: exposición, respuesta e hipótesis a demostrar al final de la investigación.

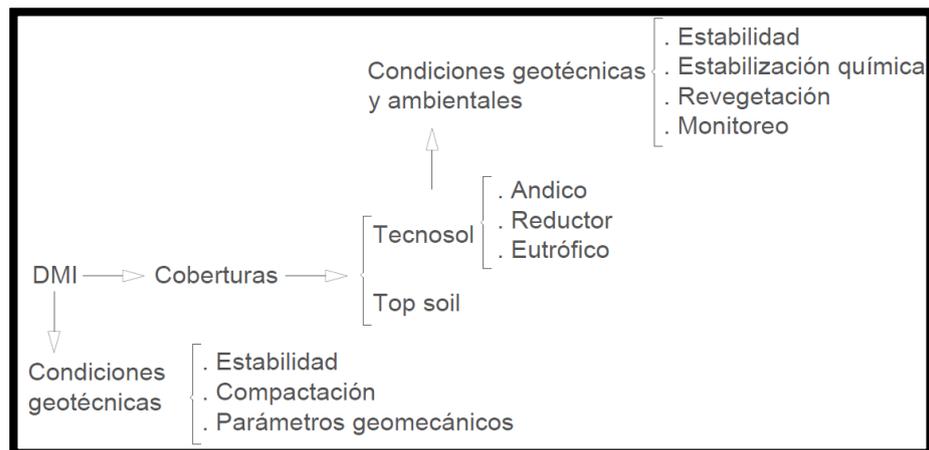


Figura 8: Operacionalización de variables
Fuente propia, 2018

3.6 Unidad de Estudio

Tecnosol de propiedades (ándico, reductor y eutrófico) y top soil a través de muestras que comprenden un total de 10 kg para cada tipo de suelo.

3.7 Muestra

Depósito de material inadecuado Turmalina, al analizar las diferentes coberturas tanto de Tecnosol y top soil, evidenciando su comportamiento a través de los parámetros físicos obtenidos en laboratorio, cumpliendo todas las exigencias para una buena obtención de análisis en: laboratorio, empírico, numérico y probabilístico. Siendo la base fundamental para mejores resultados: analíticos e ingenieriles.

3.8 Población

Depósitos de material inadecuado (DMI) de la Unidad Minera La Zanja.

3.9 Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos

Las técnicas de recopilación de información existente del depósito, estuvo basadas en la obtención datos como: imágenes satelitales, planos: topográficos (perfiles), geológicos, geomecánicos y coberturas; para mejores obtenciones al momento del procesamiento y análisis de información. Los instrumentos de recolección y muestreo de coberturas; están

basadas en la distribución de estaciones geotécnicas que representen la realidad de la información. Los formatos de campo como de laboratorio fueron propuestos, para los diferentes ensayos (granulometría, humedad, plasticidad, corte directo, etc.) y procesamientos; propuestos acorde con la investigación y la obtención de datos; que el software`s demanda para su procesamiento numérico, como también el método de equilibrio límite.

3.10 Métodos, Instrumentos y Procedimientos de Análisis de Datos

La presente investigación se basó en una investigación cuasi-experimental, basada en el análisis de los diferentes parámetros de laboratorio y recopilación de información adicional proveniente del depósito y de las diferentes coberturas y posterior simulación de datos en el software Slide 6.0. Mediante la metodología: exploratoria descriptiva y correlacional, se procesarán los datos obtenidos para su posterior análisis, comparación e interpretación.

a) Descripción de las Actividades

Etapas de Gabinete

- Recopilación de Información
- Revisión de bibliografía técnica y científica
- Análisis de Imágenes Satelitales
- Recopilación de Información del Inget
- Topografía Actualizada
- Análisis del DMI Turmalina y coberturas mediante el software Slide 6.0 a través de diferentes secciones.

Etapas de Campo

- Reconocimiento de la zona de campo
- Muestreo de diferentes coberturas en campo
- Ensayos a partir de instrumentación en laboratorio para las diferentes muestras

Etapas de Informe

- Redacción del informe
- Elaboración de mapas temáticos o planos: Plano ubicación, satelital, geológico - estructural, geomorfológico altitudinal, unidades geomorfológicas y geotécnico de suelos.
- Análisis de resultados
- Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Propiedades físicas de las coberturas para el cierre

Los resultados de los ensayos índice de laboratorio determinan las propiedades físicas de cada muestra (Tabla 7), siendo estas propiedades muy relacionadas con la composición y el peso específico de las mismas.

Los valores obtenidos para los límites de consistencia (ASTM D4318) en las diferentes muestras fueron muy similares, con condiciones en las que sobrepasan la divisoria del LL = 50, que indican que son materiales de alta plasticidad. Esta alta plasticidad está relacionada a su vez con el contenido de las diferentes fracciones granulométricas (ASTM D422/C136) en las que se obtuvo que tanto las diferentes coberturas de Tecnosoles como el top soil representan condiciones de suelos finos, con poca diferenciación en la composición granulométrica y que determinan la presencia de suelos bien equilibrados, con texturas francas características de un buen equilibrio entre las diferentes partículas lo cual favorecen que también se obtengan estructuras migajosas o granulares con elevados espacios intersticiales que aportan porosidad a las mismas.

Los ensayos de corte directo permitieron obtener los valores de resistencia (ángulo de fricción interno y cohesión), estos parámetros permiten determinar el nivel de resistencia al desplazamiento de un determinado tipo de suelo o cobertura y esto de demuestra a través un gráfico de esfuerzo normal vs esfuerzo de corte (anexo 2), ya que una mayor cohesión indica una mayor adherencia entre las partículas. Además los ensayos de peso unitario los cuales están presentes en la Tabla 8, que serán empleados para la determinación de los factores de seguridad por el software Slide 6.0. Los resultados para estos parámetros determinaron que todos los materiales presentaron condiciones muy similares tanto en los pesos específicos como en los ángulos de fricción. En los parámetros de cohesión se observaron las mayores diferenciaciones entre las coberturas, viendo que los Tecnosoles con excepción del reductor presentaron elevados valores de este parámetro, por lo que indican que las partículas que constituyen estos suelos presentan una mayor adhesión y por lo tanto una mayor resistencia frente a los deslizamientos provocado por fuertes pendientes (Tabla 8).

Tabla 7:*Propiedades Físicas de Diferentes Tipos de Coberturas*

Muestra	W (%)	Peso Específico γ (gr / cm ³)	Límites de Consistencia			Granulometría			
			LL (%)	LP (%)	IP (%)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	SUCS
Tecnosol Ándico	38.50	2.06	65.00	43.60	21.40	21.90	20.3	57.80	MH
Tecnosol Reductor	34.20	2.21	63.80	40.70	23.10	18.2	33.1	48.70	MH
Tecnosol Eutrófico	33.50	2.34	59.70	37.50	22.20	22.60	34.40	43.00	MH
Top Soil	47.60	2.01	74.80	56.10	19.00	31.90	19.30	48.80	OH

Fuente: Elaboración propia, 2018**Tabla 8:***Ensayo de Corte Directo - Coberturas*

	Angulo de Fricción (\emptyset):	Cohesión (KN/m2)
Tecnosol Ándico:	17.22	55.211
Tecnosol Reductor:	20.3	16.965
Tecnosol Eutrófico:	18.26	26.183
Top Soil:	20.81	19.319

Fuente: Elaboración propia, 2018

*El ensayo de corte directo permite determinar valores de cohesión (KN/m2) y ángulo de Fricción interno (\emptyset), adicionalmente agregamos valores de peso específico de finos (g/cm3), a partir de estos 3 valores se podrá realizar modelamiento en el software Slide 6.0. Un análisis más detallado de este ensayo aplicado a cada tipo de cobertura se presenta en el anexo n°2.

Como principal parámetro representativo tenemos la cohesión, un mayor nivel de cohesión indica una mayor adherencia entre sus partículas por lo tanto una mayor resistencia al desplazamiento o deslizamiento.

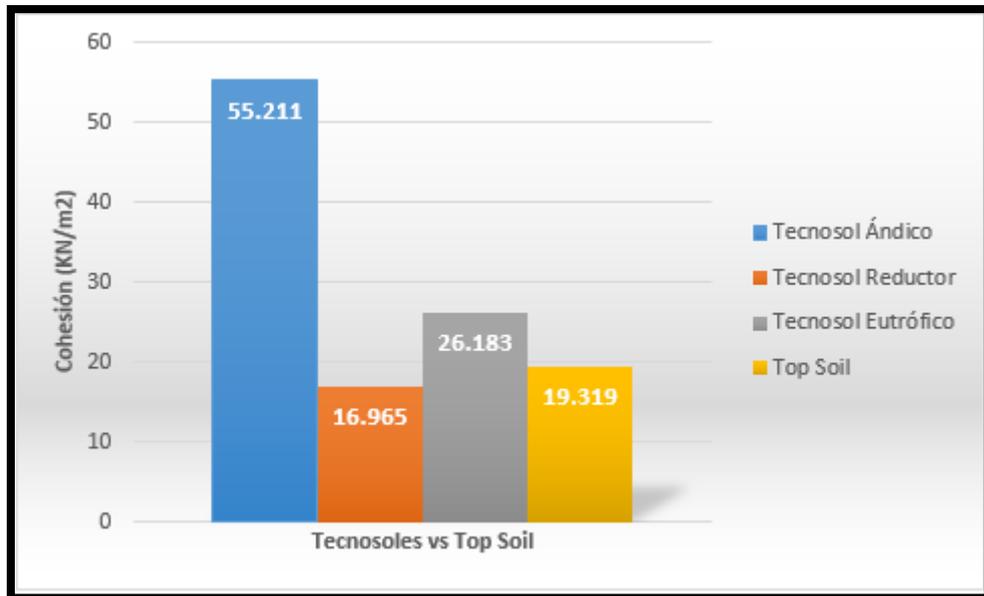


Figura 9: Valores de cohesión para cada tipo de cobertura
Fuente propia, 2018

El ángulo de rozamiento interno o ángulo de fricción es una propiedad de resistencia máxima del ángulo de reposo frente al desplazamiento y tiene influencia en los materiales granulares, al ser suelos finos cohesivos este valor pasa a ser una variable secundaria.



Figura 10: Valores de ángulo de fricción interno para cada tipo de cobertura
Fuente propia, 2018

4.2. Análisis de la estabilidad

4.2.1. Condiciones iniciales del depósito

Con las cuatro secciones obtenidas del DMI Turmalina de acuerdo a las calicatas indicadas en la figura 7, se obtuvieron las variables de longitud y altura de las secciones (Tabla 9) que serán empleadas en los cálculos de los factores de seguridad (F.S), que se obtuvieron de estas secciones y se muestran en la Tabla 10. Las diferencias encontradas para los F.S estático y pseudo-estático entre las secciones se deben a las diferencias en las pendientes de las mismas. Determinando que la sección 2-2" presentaba un menor F.S y por ello se seleccionó esta como la representativa para determinar las diferencias del efecto de las coberturas sobre este parámetro. Siendo evaluada para los tres tipos de tensiones: tensiones totales, tensiones efectivas y tensiones efectivas + sismicidad debido a los diferentes métodos de análisis que ofrece el programa Slide 6.0 (Tabla 11).

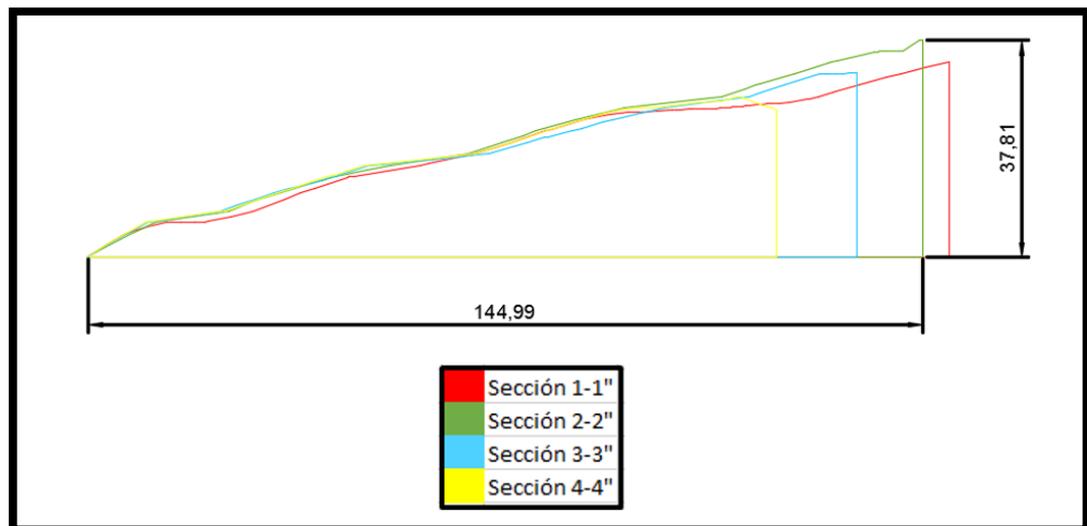


Figura 11: Secciones del Perfil para el Análisis con Slide 6.0
Fuente propia, 2018

Tabla 9:
Características de las Secciones Analizadas

Sección Analizada	Longitud (m)	Altura del Talud (m)
Sección 1-1"	149	34
Sección 2-2"	145	38
Sección 3-3"	133	32
Sección 4-4"	119	25

Fuente: Elaboración propia, 2018

Tabla 10:
Factores de Seguridad para DMI Turmalina - Método de Spencer

Área	Sección Geotécnica Analizada	Caso	Factor de Seguridad	
			Estático	Pseudo-Estático K=0,21
DMI Turmalina	Sección 1-1"	Falla Local – Tipo Circular	1.351	0.816
		Falla Global – Tipo Circular (Por el material inadecuado)	2.200	1.128
	Sección 2.2"	Falla Local – Tipo Circular	1.348	0.807
		Falla Global – Tipo Circular (Por el material inadecuado)	1.997	1.068
	Sección 3-3"	Falla Local – Tipo Circular	1.340	0.811
		Falla Global – Tipo Circular (Por el material inadecuado)	2.342	1.175
	Sección 4-4"	Falla Local – Tipo Circular	1.157	0.728
		Falla Global – Tipo Circular (Por el material inadecuado)	2.763	1.304

Fuente: Elaboración propia, 2018

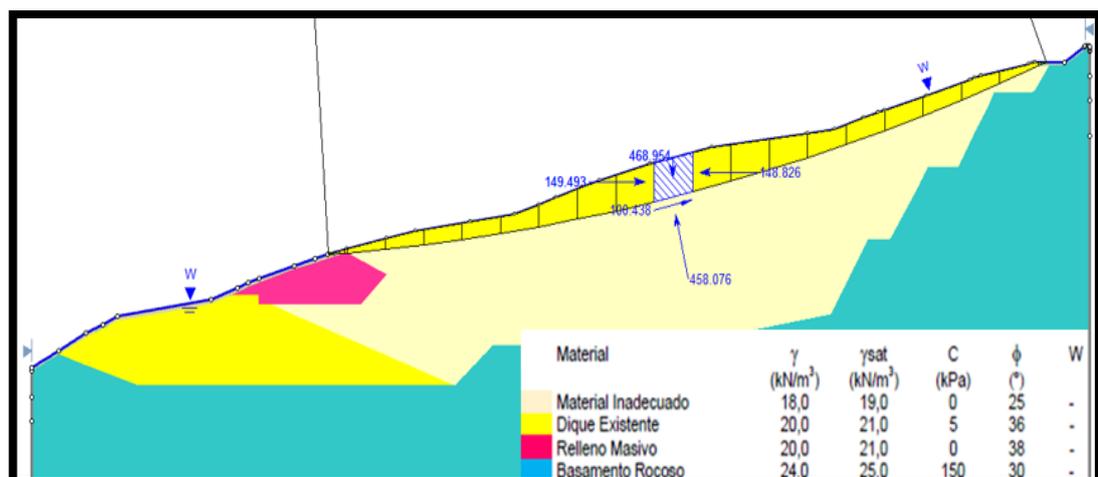


Figura 12: *Análisis de superficie de falla tipo circular a través de franjas o dovelas – método de equilibrio límite.*

Fuente propia, 2018

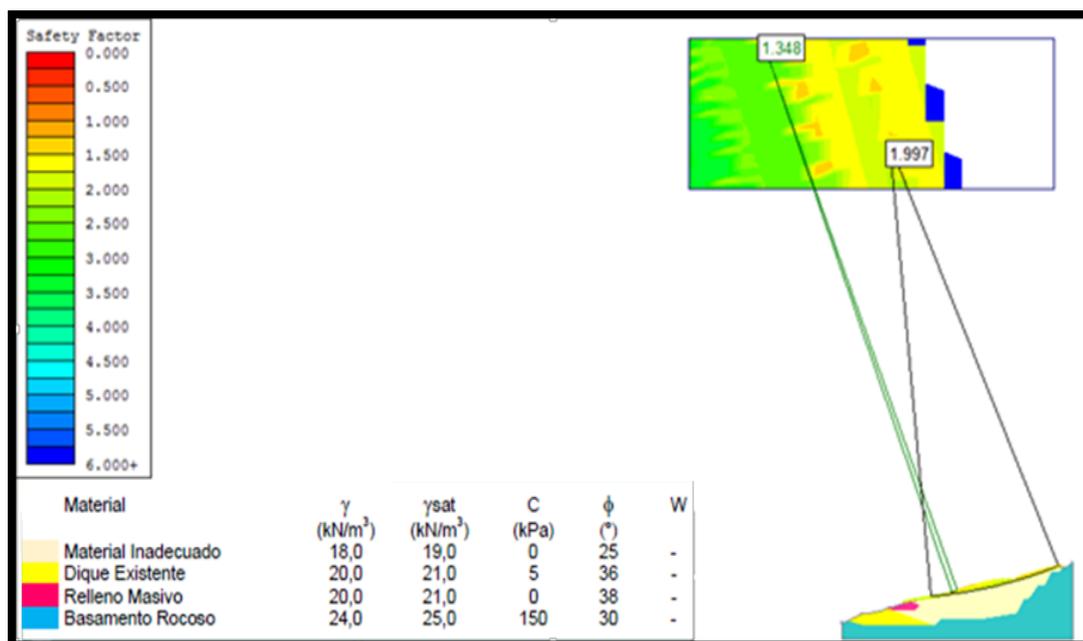


Figura 13: Factores de seguridad del DMI Turmalina en Tensiones Totales
Fuente propia, 2018

Tabla 11:
Resultados para Factores de Seguridad del Depósito – Tensiones Totales

Tipo de Material	Parámetro Geotécnico		Factor de Seguridad F.S			
	Nombre	Cohesión (C) (Kn/ m ²)	Fricción Interno (ϕ)	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Fellenius
Material Inadecuado	0	25	1.997	2.013	2.013	1.997

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los valores de las tensiones totales para los materiales inadecuados que constituyen el depósito permitió obtener un factor de seguridad de 1.997 (Tabla 11), el cual cumple con las condiciones establecidas en criterios de diseño para un cierre de componentes, el cual establece que tiene que ser un $F.S > 1.5$ (Ausenco, 2016).

4.2.2. Análisis del efecto de las coberturas en la estabilidad general del depósito

La sección más crítica (sección 2-2") se eligió para establecer los análisis de estabilidad y evaluar el efecto de las diferentes coberturas a emplear en el cierre, obteniendo los factores de seguridad por los diferentes métodos (Bishop, Janbu, Simplificado, Fellenius y Spencer). Los cuales se muestran en la Tabla 12, siendo este último el más preciso y completo (Suarez, 1998).

En todas las secciones obtuvimos factores de seguridad superiores a los indicados en los criterios de diseño, por lo que se concluye que la estructura proyectada es estable. Cada método presenta una ligera variación en el F.S.

Como se indicó en los parámetros físicos de las coberturas estos fueron clasificados por la SUCS como suelos finos. Para minimizar las variables comparativas los espesores empleados de cada cobertura, sea Tecnosol o top soil fueron de 45 cm (Figura 14) a través del software Slide 6.0 se evaluó la variación de los factores de seguridad para cada cobertura en situaciones de tensiones totales, efectivas y efectivas + sismicidad.



Figura 14: Coberturas de Tecnosol vs Cobertura de Top Soil
Fuente propia, 2018

A continuación se presentan 3 tipos de análisis que comprenden una evaluación conjunta, tanto del depósito (material inadecuado) como de coberturas, permitiendo determinar la influencia de las coberturas sobre la estabilidad del depósito a partir de sus parámetros de resistencia. Se considera estos 3 tipos de análisis debido al tipo de análisis que permite realizar el software a través de las diferentes funciones que presenta el programa con el usuario.

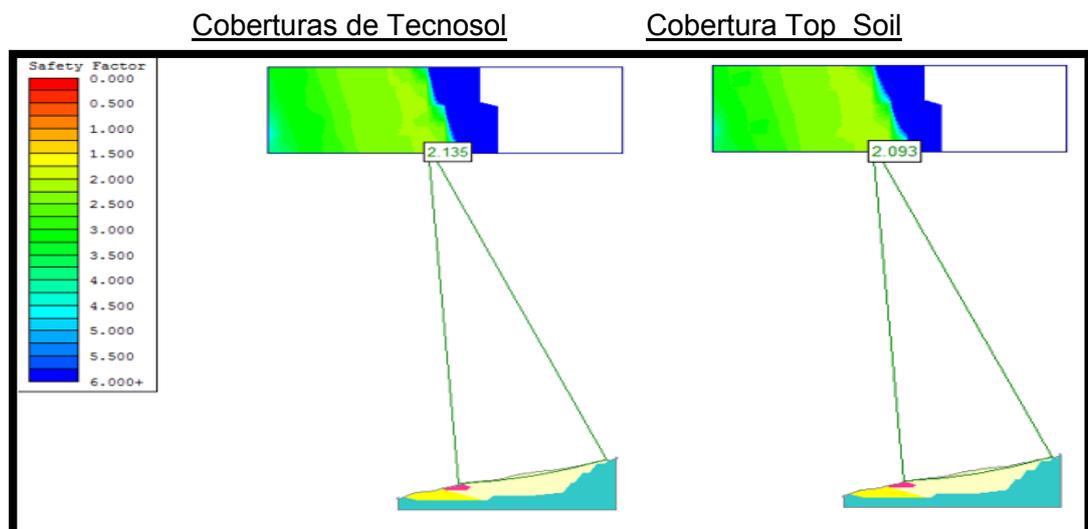


Figura 15: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Totales
Fuente propia, 2018

Tabla 12:

Factores de Seguridad calculados para el Depósito y Coberturas - Tensiones Totales

Tipo de Material	Parámetro Geotécnico		Factor de Seguridad F.S			
	Nombre	Cohesión (C) (Kn/ m ²)	Fricción Interno (Ø)	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Fellenius
Tecnosol Ándico	55.21	17.22	2.135	2.123	2.122	2.130
Tecnosol Reductor	16.965	20.3				
Tecnosol Eutrófico	26.183	18.26				
Top Soil	19.31	20.81	2.093	2.081	2.081	2.092
Material Inadecuado	0	25				

Fuente: Elaboración propia, 2018

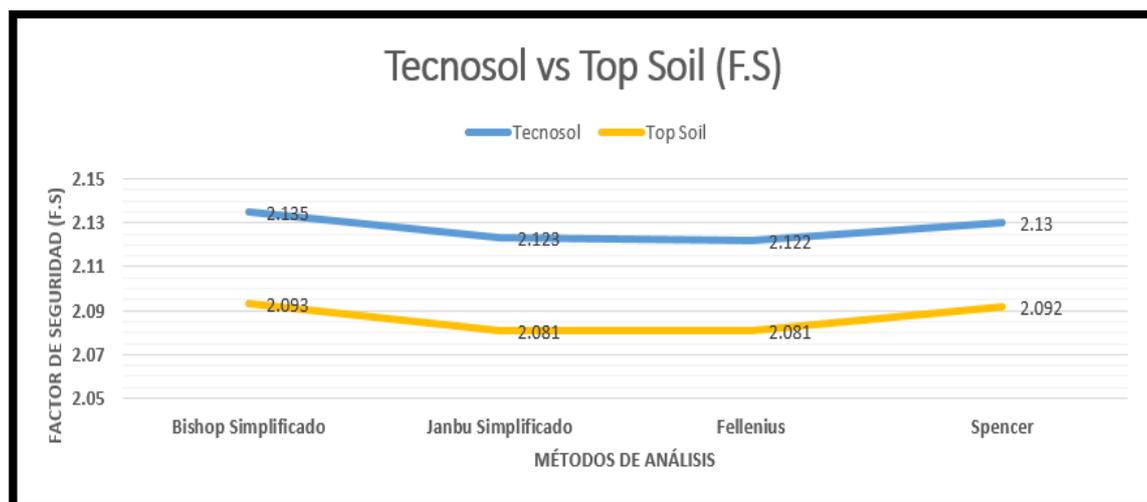


Figura 16: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Totales (F.S)

Fuente propia, 2018

El análisis de las tensiones totales para las diferentes coberturas mostró que las coberturas de Tecnosol presentaron valores similares a los obtenidos para el top soil (Tabla 12), puesto que sus propiedades físicas son similares, habiendo un aumento del FS en los Tecnoles caracterizado por la presencia de materiales con mayores cohesiones como los presentes en el T. eutrófico y ándico. Las diferencias entre ambos conjuntos de cierres no son tan significativas dado a que este análisis se hace integral de todo el componente a través de un análisis de falla tipo circular. En condiciones de saturación en la cual se estableció que está toda la cobertura saturada (espesor de 45 cm), los resultados de este escenario mostraron como los Tecnoles realizan un mejor control del agua internamente, derivada de sus propiedades físicas y al buen equilibrio entre las partículas que favorecen a que los

factores de seguridad en ambiente saturado no muestre una disminución de este parámetro (Tabla 13), lo cual en escenarios de elevada pluviometría presenta mejores características que evitan el movimiento de estas coberturas y aseguran una mayor estabilidad al depósito.

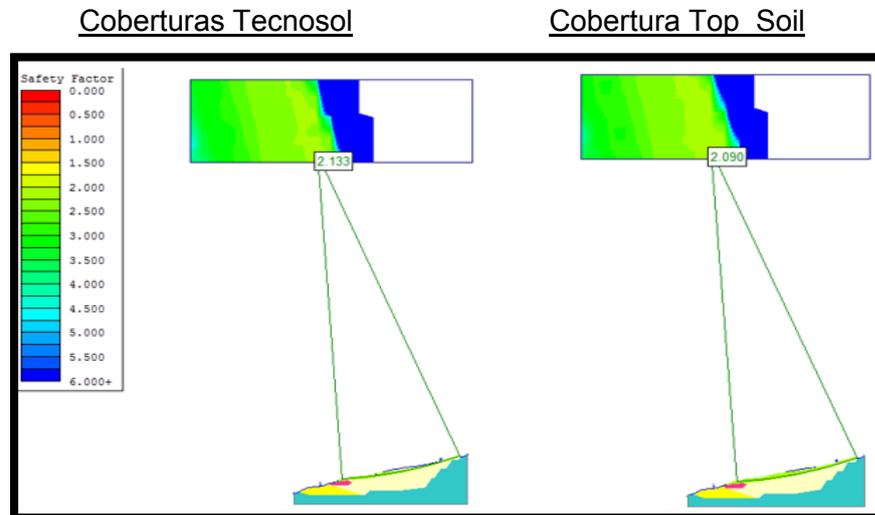


Figura 17: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas

Tabla 13:

Factores de Seguridad Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas

Tipo de Material	Parámetro Geotécnico		Nivel Freático	Factor de Seguridad F.S			
	(C)	(Ø)		Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Fellenius	Spencer
Tecnosol Ándico	55.21	17.22	Saturado	2.133	2.121	2.119	2.128
Tecnosol Reductor	16.965	20.3	Saturado				
Tecnosol Eutrófico	26.183	18.26	Saturado				
Top Soil	19.31	20.81	Saturado	2.090	2.078	2.078	2.088
Material Inadecuado	0	25	Sin Saturar				

Fuente: Elaboración propia, 2018

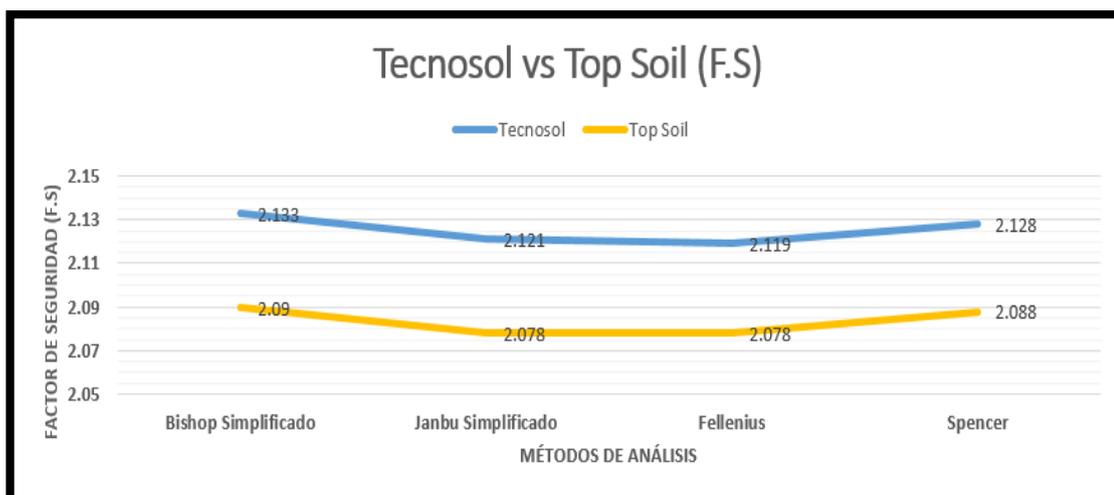


Figura 18: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas (F.S)
Fuente propia, 2018

Para el análisis de las tensiones efectivas con sismicidad se observaron que las estructuras analizadas mediante el método pseudo-estático determinando que los F.S son mayores a 1.0 con un coeficiente sísmico horizontal de 0,5 PGA que no desarrolla deformaciones mayores a 1.0 m. De acuerdo al estudio de sismicidad (Ausenco, 2016) en la zona de estudio se presenta una aceleración máxima (PGA) de 0.42 con un coeficiente sísmico horizontal que representa el 50% del PGA siendo el valor obtenido de 0.21 (Tabla 14). Estos valores dentro de la zona del proyecto están dentro de las condiciones establecidas según el D.S N° 003-2016-VIVIENDA que modifica la norma técnica E.030.

Los resultados obtenidos de F.S con estos coeficientes de aceleración sísmica demuestran que el depósito se considera estable en condiciones pseudo-estáticas, cumpliendo con la condición de diseño $F.S > 1$ y determinándose una mejora en estos factores a consecuencia del empleo de Tecnosoles, frente a un cierre convencional con top soil (Tabla 15).

Tabla 14:
Parámetros de Diseño Condiciones Pseudo-estáticas

Parámetros de Diseño	Unidad	Criterio Usado
Período de retorno sismo de diseño	Años	475
Aceleración sísmica de diseño	g	0,42
Coeficiente sísmico	Adimensional	0,21
Estabilidad estática a largo plazo, mínimo (F.S.)	Adimensional	1,5
Estabilidad pseudo-estática, mínimo (F.S.)	Adimensional	1,0
Análisis de deformación	si FS Pseudo-estático < 1,0	

Fuente: Ministerio de Vivienda, 2016

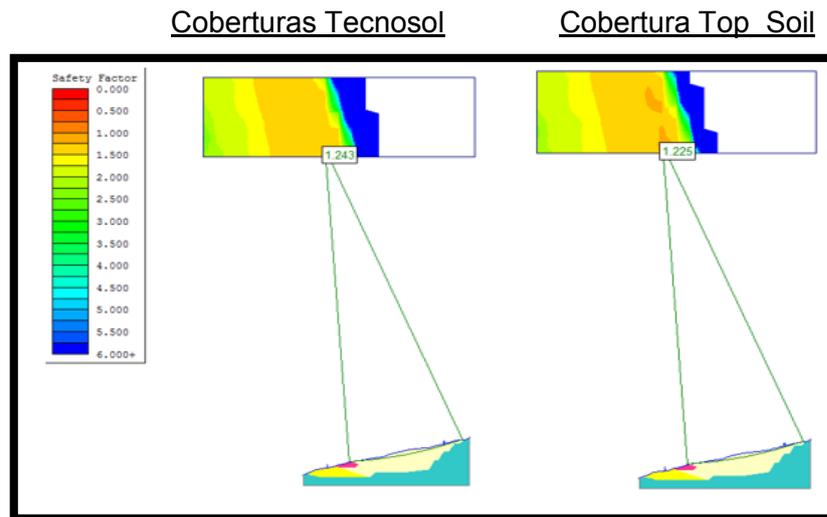


Figura 19: Análisis del Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas + Sismicidad
Fuente propia, 2018

Tabla 15:

Factores de Seguridad Depósito y Coberturas – Tensiones Efectivas + Sismicidad

Tipo de Material	Parámetro Geotécnico		Nivel Freático	Coeficiente de Aceleración Sísmica		Factor de Seguridad F.S			
	(C)	(Ø)		Kh	Kv	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado	Fellenius	Spencer
Tecnosol Ándico	55.21	17.22	Saturado	0.21	0.11	1.140	1.133	1.132	1.137
Tecnosol Reductor	16.96	20.3	Saturado	0.21	0.11				
Tecnosol Eutrófico	26.18	18.26	Saturado	0.21	0.11				
Top Soil	19.31	20.81	Saturado	0.21	0.11	1.119	1.112	1.112	1.118
Material Inadecuado	0	25	Sin Saturar	0.21	0.11				

Fuente: Fuente propia, 2016

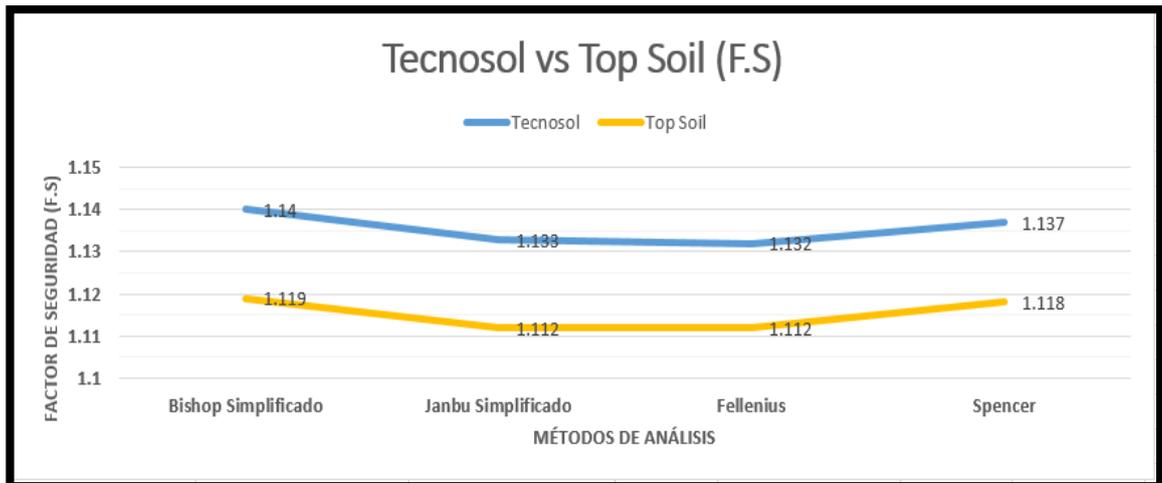


Figura 20: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas + Sismicidad (F.S)
Fuente propia, 2018

Los resultados obtenidos a partir del coeficiente de aceleración sísmica demuestran que el depósito se considera estable en condiciones pseudo-estáticas ya que cumple con la condición de diseño de $F.S < 1$ (tabla 15). De igual manera se obtiene una ligera mejora utilizando la cobertura de Tecnosol.

4.2.3. Efecto del sistema de cierre en la estabilidad del depósito (Análisis Zona Delimitada)

El análisis delimitado de una sección representativa del depósito permitió tener una evaluación más a detalle del efecto de la cobertura sobre el material presente el depósito (Figura 21). Los resultados obtenidos de los FS obtenidos a través del análisis de falla tipo circular, determinó como el empleo de los Tecnosoles frente al sistema de cierre convencional con top soil contribuye con una mejora de los factores de seguridad y por ende con la estabilidad, obteniéndose un FS para Tecnosoles de 2.531 (Tabla 16).

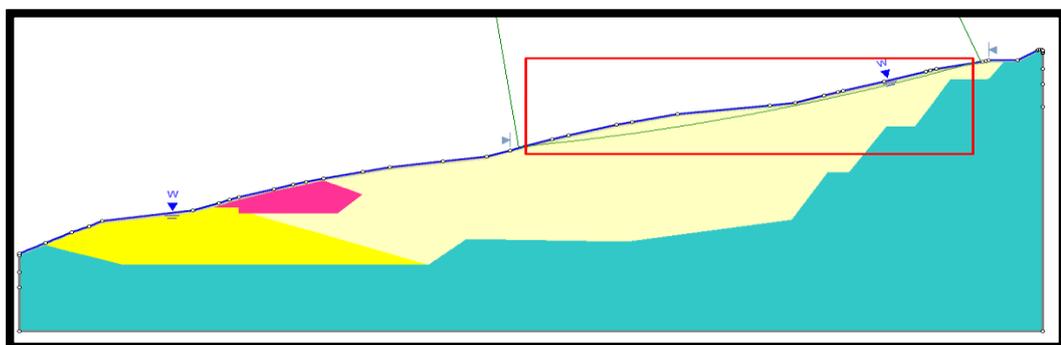


Figura 21: Zona Delimitada
Fuente propia, 2018

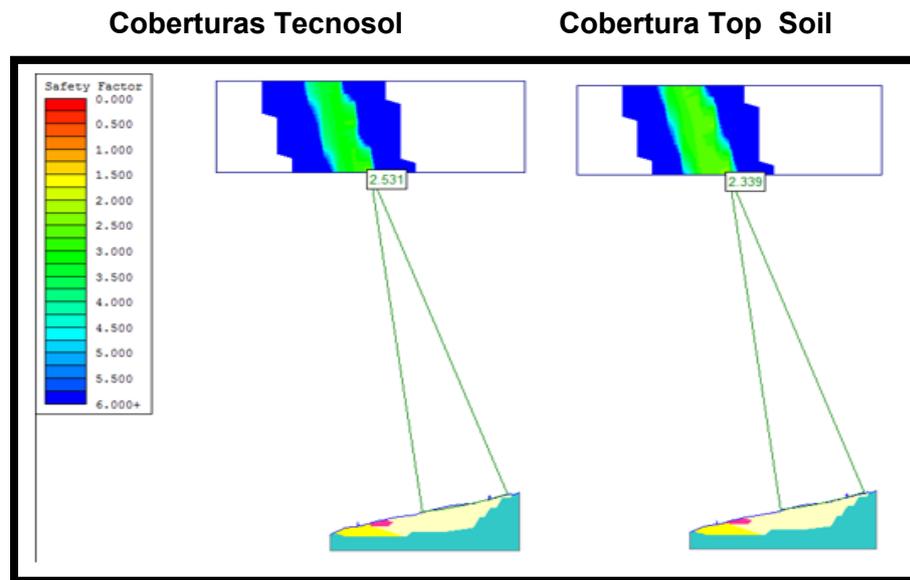


Figura 22: Análisis de la Zona Representativa – Tensiones Efectivas
Fuente propia, 2018

Tabla 16:

Factores de Seguridad para la Zona Representativa – Tensiones Efectivas

Tipo de Material	Parámetro Geotécnico		Nivel Freático	Factor de Seguridad F.S			
	Nombre	(C)		(Ø)	NF	Bishop Simplificado	Janbu Simplificado
Tecnosol Ándico	55.21	17.22	Saturado	2.531	2.530	2.523	2.526
Tecnosol Reductor	16.96	20.3	Saturado				
Tecnosol Eutrófico	26.18	18.26	Saturado				
Top Soil	19.31	20.81	Saturado	2.339	2.336	2.334	2.338
Material Inadecuado	0	25	Sin Saturar				

Fuente: Fuente propia, 2016

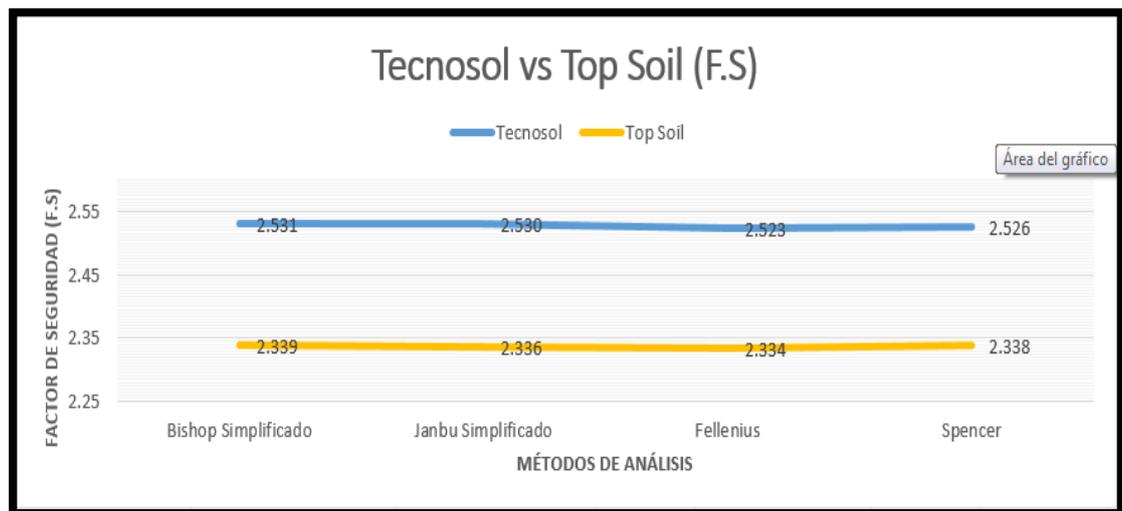


Figura 23: Tecnosol vs Top Soil en Tensiones Efectivas - Zona Representativa (F.S)
Fuente propia, 2018

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Según la investigación de Villanueva ,(2017) en su investigación “*Caracterización Geotécnica de Botaderos en Mina*” es importante definir los parámetros de diseño de un depósito mediante toma de muestras representativas, ensayos de campo y pruebas de laboratorio los cuales permiten realizar una correcta caracterización del material. De la misma forma esta investigación concuerda con lo mencionado y resalta la importancia de este procedimiento con la finalidad de obtener propiedades que representen su participación en el modelo de análisis.

La presente investigación coincide con la obtención de los resultados propuestos por Suarez, (1998) “*Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales*”, donde plantea que la determinación precisa de los parámetros de resistencia de los materiales de un talud es esencial para un análisis de estabilidad representativo de sus condiciones reales, donde tenemos que los suelos no cohesivos saturados como la grava, arena y limos no plásticos están representados por $\text{cohesión}=0$, por otro lado los suelos finos con contenido de arcilla (suelos cohesivos) están representados por mejores valores de cohesión. En esta investigación se evidencia la obtención de estos mismos resultados obtenidos de forma más detallada a través de los diferentes ensayos realizados, ya sea tanto para el material inadecuado (no cohesivo) como para las coberturas de cierre (cohesivo) que en conjunto conforman en DMI Turmalina.

Morales, (2000) en su estudio de tesis denominada “*Análisis y Diseño de Taludes Mediante Métodos Computacionales*”, presenta el uso de métodos computacionales a través de una simulaciones de la estabilidad ante diferentes condiciones y que estos estudios van dirigidos a conseguir un talud final económico, seguro y óptimo, lo cual concuerda con esta investigación ya que se determinó que el DMI Turmalina se considera estable según los criterios de diseño inicial presentando estabilidad a lo largo del tiempo en condiciones estáticas y pseudo estáticas a través del software Slide 6.0.

Macías y Nieto, (2012) en su investigación “*Didáctica de la mina de Touro: procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos*” presenta que la recuperación de una mina mediante el uso de Tecnosoles los cuales presentan capacidad de tampón, lo cual concuerda con esta investigación ya que el uso de coberturas de Tecnosol permite una menor infiltración sobre el DMI Turmalina, esto es evidenciado por los ensayos realizados. La poca cantidad de agua que llega a infiltrar en la cobertura presenta características como mayor retención de agua lo que permite una mejor vegetalización del área a remediar.

CONCLUSIONES

- La evaluación del uso de la cobertura de Tecnosol puede permitir mejores manejos en los cierres de depósitos de material inadecuado, con condiciones similares a Turmalina, una vez que mejora los parámetros de campo en relación al método de cierre convencional con top soil llegando a presentar mejores valores de estabilidad física del depósito y una mejora ambiental y del paisaje a remediar. De igual manera el diseño geométrico del depósito cumple con las condiciones geomecánicas de diseño y parámetros geotécnicos; teniendo directas relaciones con la estabilización física del depósito evaluado por el software Slide a través del factor de seguridad (F.S), considerándose estable en todas las secciones analizadas, por lo que se concluye que la estructura proyectada es estable.
- En los parámetros de geotécnicos de resistencia (cohesión y ángulo de fricción) se observaron las mayores diferenciaciones entre las coberturas, viendo que los Tecnosoles presentaron elevados valores de cohesión, por lo que indican que estos suelos presentan una mayor adhesión entre sus partículas y por lo tanto una mayor resistencia frente a los deslizamientos y estos resultados se representan a través del software Slide 6.0 a través de un ligero aumento en el F.S a favor de los Tecnosoles bajo el análisis en tensiones totales, tensiones efectivas y tensiones efectivas + sismicidad así como en análisis por zona delimitada.
- El comportamiento geotécnico de las coberturas de Tecnosol a condiciones saturadas, indican que este material presenta menor grado de saturación interna o menor infiltración, favoreciendo el mayor nivel de escorrentía superficial o flujo laminar ante fuertes lluvias características de la zona, por el contrario las coberturas de top soil al permitir una mayor infiltración facilitará una mayor saturación de la superficie de la zona material inadecuado, provocando alteraciones en la estructura del depósito y un debilitamiento progresivo en las propiedades de resistencia del depósito por humedecimiento continuo así como cambios en las tensiones principales, pudiendo generar deformación o la incidencia de superficie de falla a través del tiempo; ya que este material inadecuado es representado por material gravoso que se caracteriza por presentar anisotropía.
- Para todos los ensayos índice (granulometría, humedad, plasticidad, peso específico, etc.) se analizaron diferentes réplicas de las diferentes coberturas. La gran similitud entre réplicas indican una precisión en los resultados expuestos.

RECOMENDACIONES

- Para poder determinar de manera más precisa el nivel de infiltración de cada depósito se debe realizar ensayos de permeabilidad.
- Cuando se realizaron las calicatas se debería tener determinado sus parámetros de resistencia, ya que en su mayoría sólo comprenden ensayos de clasificación de suelos; pudiendo así generar más secciones de análisis para cada punto muestreado.
- El tendido natural de las coberturas fue realizado sin compactar mediante maquinaria, por lo que se debería tener en cuenta determinar nuevamente parámetros de campo (densidad y humedad) para constatar la variación que se produce en sus parámetros ya que actualmente el depósito se encuentra vegetalizado lo que modifica la estructura del suelo, mejorando la estructura del mismo y estableciéndose una mejora en las condiciones de cohesión entre partículas y mejora de la hidrodinámica en la cobertura y del depósito con la propagación de una red ramificada de raíces a diferentes niveles de profundidad.

REFERENCIAS

- ASTM D 422/C 136-06, 1998. *Standard Test Method for Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D 2216, 1998. *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D 4318, 2005. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D 854, 2002. *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D 3080, 2011. *Standard Test Methods for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM D 2487, 1993. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, ASTM International, West Conshohocken
- Braga, M. (1985). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Iowa: EE.UU
- Gonzales, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. España: Madrid
- Instituto Geológico y Minero de España. (2004). *"Manual de Ingeniería Geológica"*. Ingeomin. Madrid.
- Macías-García, F.; Camps Arbestain, M.; Macías, F. 2009. *Utilización de Tecnosoles derivados de residuos en procesos de restauración de suelos de la mina Touro*. Galicia:España.
- Raygada, L.F. (2011). *Análisis de Estabilidad y Deformaciones en el Acantilado de la Costa Verde*. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Rodríguez, R & Tolentino, V. (2016). Método de Investigación Geológico-Geotécnico para el Análisis De Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos Zona Ronquillo – Corisorgona Cajamarca – Perú. En Revista de Investigación UNMSM, 20, (39) pp.167-174. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14179/12492.htm>
- Santos, E., Arán, D., Abreu, M., Varennes, A., 2018. *Bio-geotechnologies for mine site rehabilitation*. Amsterdam: Netherlands, 131–146.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bogotá: Colombia.

ANEXOS

Anexo n° 1: Registro Fotográfico

a) Ensayos de Laboratorio



Foto n° 1: Ensayo de Análisis Granulométrico ASTM D422/C136



Foto n° 2: Horno para secado de muestras a temperatura 110°C y determinar el Contenido de Humedad según ASTM D 2216



Foto n° 3: Ensayo de Límites de Atterberg para determinar la plasticidad según ASTM D 4318



Foto n° 4: Ensayo de compactación Proctor Estándar según ASTM D 698



Foto n° 5: Ensayo de Peso Específico de Finos según ASTM D 854



Foto n° 6: Ensayo de Corte Directo según ASTM D 3080-90

b) DMI Turmalina (Orden Cronológico)



Foto 1: Disposición del Tecnosol Ándico como primera capa correspondiente a la 3ra hectárea.



Foto 2: Maquinaria disponiendo el Tecnosol sin ser compactado.



Foto 3: Vegetación en el DMI Turmalina con especies de la zona como: quinual, Trebol, ceticio, ray grass.



Foto 4: Zona del dique a ser cubierta por Tecnosol.



Foto 5: Avance de la zona revegetada y la zona no revegetada al 08/03/2018.



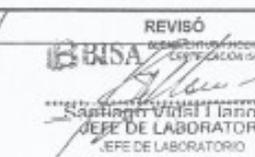
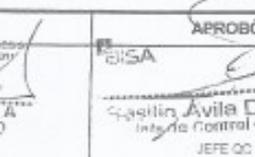
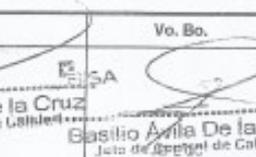
Foto 6: Disposición de Tecnosoles, avance hasta 16/03/2018



Foto 7: Disposición de Tecnoisol en la zona del dique.

Anexo n° 2: Ensayos de Laboratorio

TECNOSOL ANDICO

			
Título: ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 / C136			
Nro de Revisión: 1	Fecha de Revisión: Feb. 2018	Página 1 de 3	
Obra : PRODUCCIÓN DE TECNOSOLES	Fecha muestreo: 05/02/2018	Muestra No. T.A - 01	
Localización X = 733523.760	Y = 9245202.870	Cola m.s.n.m. 3550.000	Capa -
Descripción: Material para Tecnosol Andico.		Curva No. -	
Muestreado por: Juan Daniel Moncada Espinoza.			
Tamaño Tamiz	Peso Reten. Acumulada	% Retenido	% Pasa
8"			
6"			
4"			
3"			
2"			
1 1/2"	0.0	0.0	100.0
1"	88.7	1.5	98.5
3/4"	230.5	3.9	96.1
1/2"	351.0	5.9	94.1
3/8"	570.8	8.6	90.4
No. 4	1300.2	21.9	78.1
No. 6			
No. 10	35.0	27.1	72.9
No. 18			
No. 20	64.4	31.5	68.5
No. 30			
No. 40	69.0	35.2	64.8
No. 50			
No. 60	109.0	38.2	61.8
No. 100	125.6	40.7	59.3
No. 140			
No. 200	134.9	42.1	57.9
Platillo	135.0		
Cantidad de suelo que pasa el tamiz No. 4 (Compactación AASHTO): [1 - contenido de humedad (-No. 4)/(100*(1000g ó 13.231 lb))(-No. 4)*(-2)]			
Cantidad de Suelo entre los tamices 3/4" y No. 4 (Compactación AASHTO): 1.01*(1000 ó 13.231 lb)*(-2)*(-No. 4)*(-2)			
Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 4 Secado a 60 °C sin lavar			
Condiciones de Secado y Lavado de la fracción de suelo que pasa la malla N° 4 Secado a 60 °C después de lavado			
Corrección del suelo húmedo que pasa la malla			
Peso suelo húmedo que pasa (g) N° 4		5470.0	
Peso suelo seco que pasa (g) N° 4		4639.5	
Peso suelo seco retenido (g) N° 4		1300.2	
Peso suelo seco total (g)		5939.7	
Condiciones de la fracción de suelo seco que pasa la malla:			
% suelo seco que pasa/peso de la fracción de suelo seco que pasa			
CLASIFICACION SUCS: MH / Limo de alta plasticidad.			
Proveniencia: Plataforma de Tecnosoles / DMI Este			
Contenido de humedad de la fracción de Suelo seco que pasa la malla N° 4		% de suelo seco que pasa la malla No. 200:	
		57.8	
No. Tara	B-06	No. Tara	B-05
Peso Humedo + Tara g	870.8	Peso Seco + Tara g	777.8
Peso Seco + Tara g	777.8	P. Seco Lavado + Tara g	391.5
Peso de Tara g	295.2	Peso de Tara g	286.2
Peso del Agua g	93.2	Suelo Seco (-No. 200) g	385.1
Peso Seco g	521.4	Suelo Seco (+No. 200) g	135.3
Cont. de humedad %	17.9	Suelo Seco (-No. 200) %	57.8
OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina Material colocado en la 3ra hectárea del DMI Turmalina.			
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
			
Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO TECNICO DE LABORATORIO	Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	Gasitán Avila De la Cruz JEFE QC	Gasitán Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
		RESULTADO	
		<input type="radio"/> CUMPLE	
		<input type="radio"/> NO CUMPLE	
		<input type="radio"/> NO APLICA	

BISA		MINERÍA ZANJA S.R.L. GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216			
Nro de revisión: 1	Fecha de revisión: Feb. 2018	Página 2 de 3	
Obra: PRODUCCIÓN DE TECNOSOLS	Fecha muestreo: 05/02/2018	Muestra No. T.A - 01	
Descripción: Material para Tecnosol Andico.		Curva No. -	
Muestreado por: Juan Daniel Moncada Espinoza.			
Condiciones de Secado: X 60°C / 110°C	Método: X Horno (O)	Microonda (M)	
Muestra No.			
Ubicación	X = 733823.780	Y = 9245202.870	Cota. m.s.n.m 3550.000
Profundidad			
Muestra o ensayo	1		
RECIPIENTE No	B-05		
Pr + Ph	A g	1229.9	
Pr + Ps	B g	956.6	
Pr	C g	246.3	
P. AGUA	D = A - B	273.3	
Ps	E = B - C	710.3	
% DE HUMEDAD (DE) * 100		38.5	
CLASIFICACION SUCS	MH / Limo de alta plasticidad.		
OBSERVACIONES	Contenido de humedad de toda la muestra. Material de esbarrana para sierra de mina / DMI Turmalina		
Muestra No.			
Ubicación			
Profundidad			
Muestra o ensayo			
RECIPIENTE No			
Pr + Ph	A g		
Pr + Ps	B g		
Pr	C g		
P. AGUA	D = A - B		
Ps	E = B - C		
% DE HUMEDAD (DE) * 100			
CLASIFICACION SUCS			
OBSERVACIONES			
PR= PESO DEL RECIPIENTE			
PH= PESO HUMEDO			
PS= PESO SECO			
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Va. Bo.
 Santiago Adar Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Adar Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Calidad
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

BISA MINERA FLA ZANJA S.R.L.
GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD

Título: **LÍMITES DE CONSISTENCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDAD**
ASTM D4318

Nro de revisión: 1 Fecha de revisión: Feb 2018 Página 3 de 3

Obra: **PRODUCCIÓN DE TECNOSOL** Fecha muestreo: 05/02/2018 Muestra No. T.A - 01

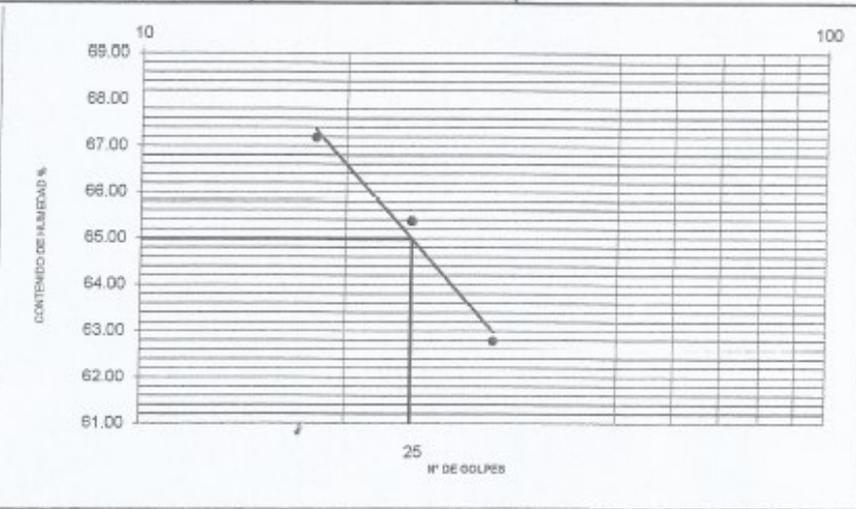
Localización X = 733523.760 Y = 9245202.870 Coa m.s.n.m. 3550.000 Capa (m) -

Descripción: **Material para Tecnosol Anódico.** Curva No. -

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO				
Muestra o ensayo	1	2	3	
No DE GOLPES	30	20	18	
RECIPIENTE No	D1	D2	D3	
Pr + Ph g	43.05	38.94	38.87	
Pr + Ps g	37.28	34.58	34.51	
P. AGUA g	5.77	4.36	4.36	
Pr g	28.09	27.91	28.02	
Ps g	8.19	6.67	6.49	
% DE HUMEDAD	63.79	65.37	67.18	

LÍMITE PLÁSTICO				
RECIPIENTE No	U4	D5		
Pr + Ph g	36.13	40.70		
Pr + Ps g	35.82	38.95		
P. AGUA g	3.31	3.75		
Pr g	28.24	28.32		
Ps g	7.58	8.63		
% DE HUMEDAD	43.67	43.45		
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	43.6			



RESULTADOS

HUMEDAD NATURAL %: 38.5

LÍMITE LÍQUIDO %: 65.0

LÍMITE PLÁSTICO %: 43.6

ÍNDICE DE PLASTICIDAD %: 21

No. Golpes	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

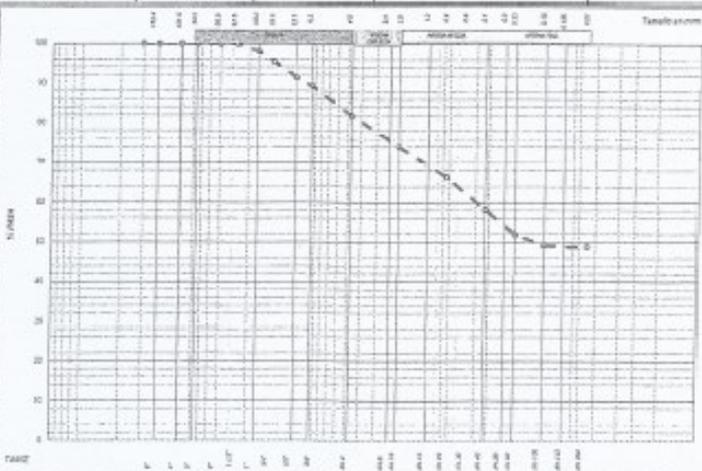
OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina

PR= PESO DEL RECIPIENTE	TEMPERATURA DE SECADO	AGUA USADA
PH= PESO HUMEDO	PREPARACION DE LA MUESTRA 20° C AMBIENTE	DESTILADA X OTRA
PRa= PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD 60° G X 110° D	POTABLE
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ
<i>Santiago Vidal Llanos A.</i>	<i>Santiago Vidal Llanos A.</i>	<i>Basilio Avila De la Cruz</i>
JEFE DE LABORATORIO	JEFE DE LABORATORIO	JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
Vo. Bo.		
RESULTADO		
CUMPLE <input type="radio"/>		
NO CUMPLE <input type="radio"/>		
NO APLICA <input type="radio"/>		

TECNOSOL REDUCTOR

BISA		Minerla Zanja S.R.L. GESTION DE CONTROL DECALIDAD	
Título: ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 / C136			
Nro de Revisión: 1		Fecha de Revisión: Feb. 2018	
Obra: PRODUCCIÓN DE TECNOSOLES		Fecha muestreo: 05/02/2018	
Localización X = 733475.080 Y = 9245172.680		Cota m.s.n.m. 3551.000	
Descripción: Material para Tecnosol Reductor.		Capa: -	
Muestreado por: Juan Daniel Moncada Espinoza.		Curva No.: -	

Tamaño Tamiz	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Especific.	Comentarios
8"					Cantidad de suelo que pasa el tamiz No. 4 (Compactación AASHTO): [1-(contenido de humedad (-No.4)/100)(9000g ó 13.231 lb)](-No. 4)](-2)²
6"					
4"					
3"					Cantidad de Suelo entre los tamices 20" y No. 4 (Compactación AASHTO): 1.01*(9000 ó 13.231 lb)](-2)²(-No.4)](-2)
2"					
1 1/2"	0.0	0.0	100.0		
1"	101.2	2.0	98.0		
3/4"	233.8	4.6	95.4		Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 4 Secado a 60 °C sin lavar
1/2"	434.7	8.6	91.4		
3/8"	616.9	10.8	89.2		Condiciones de Secado y Lavado de la fracción de suelo que pasa la malla N° 4 Secado a 60 °C después de lavado
No. 4	920.0	18.2	81.8		Corrección del suelo húmedo que pasa la malla
No. 8					
No. 10	44.0	25.9	74.1		
No. 16					
No. 20	89.0	33.7	66.3		Peso suelo Húmedo que pasa (g)N°4 <u>4854.7</u>
No. 30					Peso suelo seco que pasa (g)N°4 <u>4147.2</u>
No. 40	135.0	41.8	58.2		Peso suelo seco retenido (g) N°4 <u>920.0</u>
No. 50					Peso suelo seco total (g) <u>5067.2</u>
No. 60	171.6	49.1	51.9		
No. 100	186.7	50.8	49.2		Condiciones de la fracción de suelo seco que pasa la malla:
No. 140					
No. 200	189.4	51.2	48.8		% suelo seco que pasa/peso de la fracción de suelo seco que pasa
Plástico	189.5				



CLASIFICACION SUCS: MH / Limo de alta plasticidad.

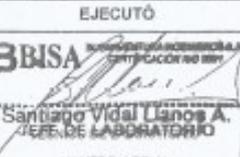
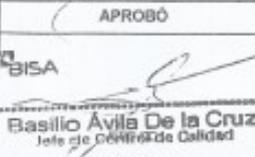
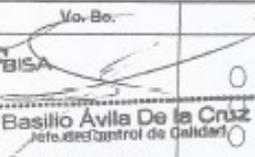
Proveniencia: Plataforma de Tecnosoles / DMI Esto

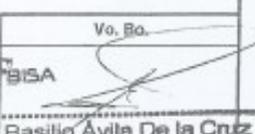
Contenido de humedad de la fracción de Suelo seco que pasa la malla N°4: _____

% de suelo seco que pasa la malla No. 200: 48.7

No. Tara	B-06	No. Tara	B-06
Peso Húmedo + Tara g	806.0	Peso Seco + Tara g	725.0
Peso Seco + Tara g	720.0	P. Seco Lavado + Tara g	446.7
Peso de Tara g	256.1	Peso de Tara g	256.1
Peso del Agua g	81.0	Suelo Seco (-No. 200) g	279.3
Peso Seco g	461.9	Suelo Seco (+No. 200) g	189.9
Cont. de humedad %	17.3	Suelo Seco (-No. 200) %	48.7

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina
Material colocado en la 3ra hectárea del DMI Turmalina.

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.	RESULTADO
 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Ávila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	 Basilio Ávila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	<input checked="" type="radio"/> CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

BISA		<small>INSTITUTO TECNOLÓGICO</small> GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216			
Nro de revisión:	1	Fecha de revisión:	Feb. 2018
		Página 2 de 3	
Obra:	PRODUCCIÓN DE TECNOSOL	Fecha muestreo:	05/02/2018
Descripción:	Material para Tecnosol Reductor.	Muestra No.:	T.R - 01
Muestreado por:	Juan Daniel Mercado Espinoza.	Curva No.:	
Condiciones de Secado: X 90°C / 110°C		Método:	X Horno (O) Microondas (M)
Muestra No.			
Ubicación	X = 733475.980	Y = 9245172.680	Cota. m.s.n.m 3551.900
Profundidad			
Muestra o ensayo	1		
RECIPIENTE No	B-05		
Pr + Ph	A g	896.7	
Pr + Ps	B g	733.0	
Pr	C g	254.9	
P. AGUA	D = A - B	163.7	
PS	E = B - C	478.1	
% DE HUMEDAD (D/E) * 100		34.2	
CLASIFICACION SUCS	MH / Limo de alta plasticidad.		
OBSERVACIONES Contenido de humedad de toda la muestra. Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina			
Muestra No.			
Ubicación			
Profundidad			
Muestra o ensayo			
RECIPIENTE No			
Pr + Ph	A g		
Pr + Ps	B g		
Pr	C g		
P. AGUA	D = A - B		
Ps	E = B - C		
% DE HUMEDAD (D/E) * 100			
CLASIFICACION SUCS			
OBSERVACIONES			
PR= PESO DEL RECIPIENTE			
PH= PESO HUMEDO			
PS= PESO SECO			
REVISÓ	APROBO	Vo. Bo.	
 Santiago Vidal Llanos A. TÉCNICO DE LABORATORIO	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	
FECHA	FECHA	FECHA	

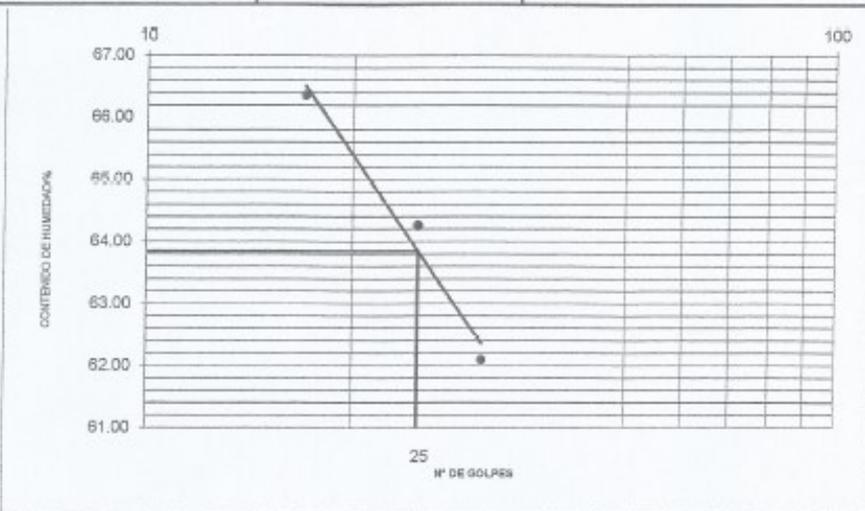
		 GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
TÍTULO: LÍMITES DE CONSISTENCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318			
Nro de revisión:	1	Fecha de revisión:	Feb. 2013
		Página 3 de 3	

Obra	PRODUCCIÓN DE TECNOSOLES	Fecha muestreo:	05/02/2018	Muestra No.	T.R - 01
Localización X =	733475.080	Y =	9245172.690	Cota m.s.n.m.	3551.000
Descripción:	Material para Tecnosol Reductor.	Capa (m)	-	Curva No.	-

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO				
Muestra o ensayo	1	2	3	
No DE GOLPES	31	25	17	
RECIPIENTE No	D1	D2	D3	
Pr + Ph g	39.07	39.49	39.14	
Pr + Ps g	34.86	34.98	34.72	
P. AGUA g	4.21	4.53	4.42	
Pr g	28.08	27.91	28.06	
Ps g	6.78	7.05	6.66	
% DE HUMEDAD	62.09	64.26	66.37	

LÍMITE PLÁSTICO				
RECIPIENTE No	D4	D5		
Pr + Ph g	38.76	39.31		
Pr + Ps g	35.72	36.13		
P. AGUA g	3.04	3.18		
Pr g	28.25	28.32		
Ps g	7.47	7.81		
% DE HUMEDAD	40.70	40.72		
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	40.7			



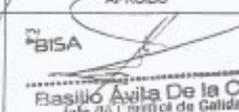
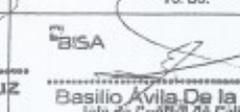
RESULTADOS

HUMEDAD NATURAL %:	34.2
LÍMITE LÍQUIDO %:	63.8
LÍMITE PLÁSTICO %:	40.7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD %:	23

No. Golpes	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina

PR= PESO DEL RECIPIENTE	TEMPERATURA DE SECADO	AGUA USADA
PH= PESO HUMEDO	PREPARACION DE LA MUESTRA	DESTILADA X OTRA
PS= PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD	POTABLE
	20° C AMBIENTE	
	60° C X 110° C	

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.	RESULTADO
 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	 Basilio Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA <input type="radio"/>
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

TECNOSOL EUTROFICO

BISA		MINERA LA ZANJA S.R.L. GESTION DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 / C136			
Nro de Revisión:	1	Fecha de Revisión: Feb. 2018	Página 1 de 3
Obra :	PRODUCCIÓN DE TECNOSOL	Fecha muestreo:	05/02/2018
Localización X =	733381.280	Y =	9245170.210
Localización Z =		Cota m.s.n.m.	3551.000
Descripción:	Materia para Tecnosol Eutrófico.	Capa	-
Muestreado por:	Juan Daniel Moncada Espinoza.	Curva No.	-

Tamaño Tama	Peso Reten. Acumulado	% Retenido	% Pasa	Comentarios
8"				Cantidad de suelo que pasa el tamiz No. 4 (Compactación AASHTO): [1-contenido de humedad (-No.4/100)(6000g ó 13.231 lb)/(-No. 4)(-2")]
6"				
4"				
3"				
2"				Cantidad de Suelo entre los tamices 3/4" y No. 4 (Compactación AASHTO): 1.01*(6000 ó 13.231 lb)(-2")(-No.4)(-2")
1 1/2"	0.0	0.0	100.0	
1"	150.0	2.7	97.3	
3/4"	198.2	3.6	96.4	Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 4 Secado a 60 °C sin lavar
1/2"	354.2	6.4	93.6	
3/8"	407.5	9.0	91.0	Condiciones de Secado y Lavado de la fracción de suelo que pasa la malla N°4 Secado a 60 °C despues de lavado
No. 4	1250.8	22.6	77.4	Corrección del suelo húmedo que pasa la malla
No. 6				
No. 10	61.8	30.9	69.1	
No. 18				
No. 20	111.6	37.6	62.4	Peso suelo Húmedo que pasa (g)N°4 <u>4860.5</u>
No. 30				Peso suelo seco que pasa (g)N°4 <u>4278.6</u>
No. 40	155.7	43.6	56.4	Peso suelo seco retenido (g) N°4 <u>1250.8</u>
No. 50				Peso suelo seco total (g) <u>5529.4</u>
No. 60	198.3	49.2	50.8	
No. 100	230.0	53.4	46.6	Condiciones de la fracción de suelo seco que pasa la malla:
No. 140				
No. 200	256.6	57.0	43.0	% suelo seco que pasa/peso de la fracción de suelo seco que pasa
Plástico	256.6			

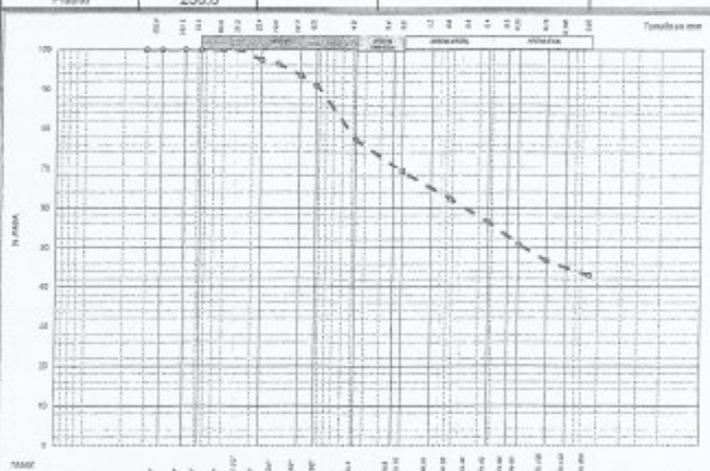


Gráfico de curva granulométrica que muestra el porcentaje de suelo que pasa a través de diferentes tamaños de tamices. El eje horizontal representa el tamaño de tamiz en milímetros (de 75 a 7500) y el eje vertical representa el porcentaje de suelo que pasa (de 0 a 100). La curva comienza en 100% para tamices grandes y disminuye a medida que el tamaño de tamiz se reduce, alcanzando aproximadamente 43% para el tamiz No. 200.

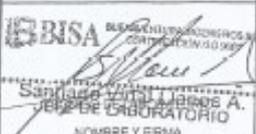
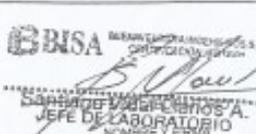
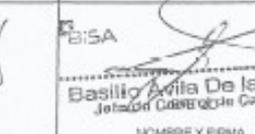
CLASIFICACION SUCS: MH / Limo de alta plasticidad.

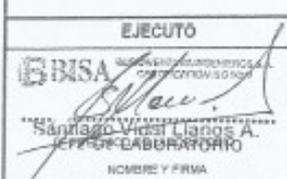
Proveniencia: Plataforma de Tecnosoles / DMI Este

Contenido de humedad de la fracción de Suelo seco que pasa la malla N°4		% de suelo seco que pasa la malla No. 200 :	
		43.0	

No. Tara	B-03	No. Tara	B-08
Peso Humedo + Tara g	998.6	Peso Seco + Tara g	522.0
Peso Seco + Tara g	822.6	P. Seco Lavado +Tara g	501.3
Peso de Tara g	244.3	Peso de Tara g	244.3
Peso del Agua g	79.6	Suelo Seco (-No. 200) g	320.7
Peso Seco g	577.7	Suelo Seco (+No. 200) g	257.0
Cont. de humedad %	13.6	Suelo Seco (-No. 200) %	43.0

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina
Material colocado en la 3ra hectárea del DMI Turmalina.

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.	RESULTADO
 Santiago Vivas A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vivas A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	 Basilio Avila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	<input checked="" type="radio"/> CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

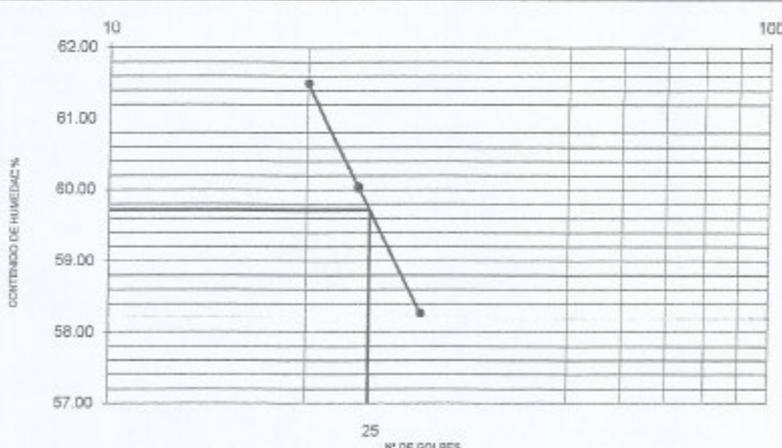
BISA		GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216			
Nro de revisión: 1	Fecha de revisión: Feb. 2018	Página 2 de 3	
Obra: PRODUCCIÓN DE TECNOSOL	Fecha muestreo: 05/02/2018	Muestra No. T.E - 01	
Descripción: Materia para Tecnosol Eutéctico.		Curva No. -	
Muestreado por: Juan Daniel Moncada Espinoza.			
Condiciones de Secado: X 50°C / 110°C	Método: X Horno (O)	Microonda (M)	
Muestra No.			
Ubicación	X = 733381.280	Y = 9248170.210	Cota. m.s.n.m 3551.000
Profundidad			
Muestra o ensayo	1		
RECIPIENTE No	B-02		
Pr + Ph	A g	1024.4	
Pr + Ps	B g	830.3	
Pr	C g	251.2	
P. AGUA	D = A - B	194.1	
Ps	E = B - C	579.1	
% DE HUMEDAD	(DE) * 100	33.5	
CLASIFICACION SUCS	MH / Limo de alta plasticidad.		
OBSERVACIONES	Contenido de humedad de toda la muestra. Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina		
Muestra No.			
Ubicación			
Profundidad			
Muestra o ensayo			
RECIPIENTE No			
Pr + Ph	A g		
Pr + Ps	B g		
Pr	C g		
P. AGUA	D = A - B		
Ps	E = B - C		
% DE HUMEDAD	(DE) * 100		
CLASIFICACION SUCS			
OBSERVACIONES			
PR= PESO DEL RECIPIENTE			
PH= PESO HUMEDO			
PS= PESO SECO			
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vó. Bó.
 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	 Basilio Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

		 GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: LÍMITES DE CONSISTENCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318			
Nro de revisión:	1	Fecha de revisión:	Feb. 2018
		Página 3 de 3	

Obra	PRODUCCIÓN DE TECNOSOLES	Fecha muestreo:	05/02/2018	Muestra No.	T.E - 01
Localización X =	733381.280	Y =	9245170.210	Cota m.s.n.m.	3551.000
Descripción:	Materia para Tecnosol Eutrófico.			Capa (m)	-
				Curva No.	-

LÍMITES DE CONSISTENCIA				
LÍMITE LÍQUIDO				
Muestra o ensayo	1	2	3	
No DE GOLPES	30	24	20	
RECIPIENTE No	D1	D2	D3	
Pr + Ph g	39.90	40.85	40.40	
Pr + Ps g	35.60	36.12	35.80	
P. AGUA g	4.30	4.73	4.80	
Pr g	28.22	28.24	28.32	
Ps g	7.38	7.88	7.45	
% DE HUMEDAD	58.27	60.03	61.50	

LÍMITE PLÁSTICO				
RECIPIENTE No	D4	D5		
Pr + Ph g	42.32	40.83		
Pr + Ps g	38.51	37.43		
P. AGUA g	3.81	3.40		
Pr g	28.58	28.52		
Ps g	10.13	9.11		
% DE HUMEDAD	37.81	37.32		
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	37.5			

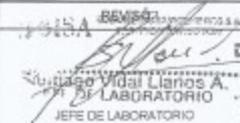
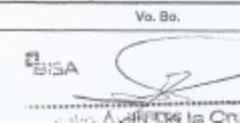


RESULTADOS	
HUMEDAD NATURAL %:	33.5
LÍMITE LÍQUIDO %:	59.7
LÍMITE PLÁSTICO %:	37.5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD %:	22

No. Golpes	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina

PR= PESO DEL RECIPIENTE	TEMPERATURA DE SECADO	AGUA USADA
PH= PESO HUMEDO	PREPARACION DE LA MUESTRA	DESTILADA X OTRA
PS= PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD	POTABLE
	20° C AMBIENTE	
	60° C X 110° C	

EJECUTÓ  Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	REVISÓ  Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	APROBÓ  Basilio Anís De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	Va. Bo.  Basilio Anís De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

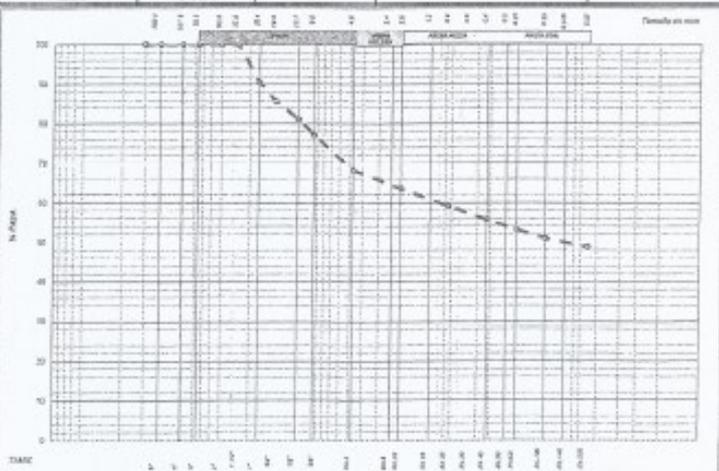
	RESULTADO CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA <input type="radio"/>
--	---

TOP SOIL

BISA		MINERÍA ZANJA S.A. GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D 422 / C136			
Nro de Revisión:	1	Fecha de Revisión:	Feb. 2018
		Página: 1 de 3	

Obra:	ACOPIO TOP SOIL / CIERRE CONVENCIONAL	Fecha muestreo:	05/02/2018	Muestra No.	Top Soil - 01
Localización X =	732127.150	Y =	8244316.750	Cota m.s.n.m.	3530.000
Descripción:	Material para Top Soil.	Capa	-		
Muestreado por:	Juan Daniel Moncada Espinoza.	Curva No.	-		

Tamaño Tazón	Peso Reten. Acumulado	% Retenido	% Pasa	Espejito	Comentarios
3"					Cantidad de suelo que pasa el tamiz No. 4 (Compactación AASHTO): [1 - contenido de humedad (-No.4)/100*(9000g ó 13.231 lb)]*(No. 4)^(-2)]
6"					
4"					
3"					Cantidad de Suelo entre los tamices 3/4" y No. 4 (Compactación AASHTO): 1.01*(6000 ó 13.231 lb)^(-2) - (No.4)^(-2)
2"					
1 1/2"	0.0	0.0	100.0		
1"	272.4	9.5	90.5		
3/4"	409.0	14.3	85.7		Condiciones de Secado y Lavado del suelo Retenido en la malla N° 6 Secado a 60 °C sin lavar
1/2"	540.0	18.9	81.1		
3/8"	654.9	22.9	77.1		Condiciones de Secado y Lavado de la fracción de suelo que pasa la malla N°4 Secado a 60 °C después de lavado
No. 4	912.0	31.9	68.1		
No. 8					Corrección del suelo húmedo que pasa la malla
No. 10	34.1	36.5	63.5		
No. 16					Peso suelo Húmedo que pasa (g) N°4
No. 20	67.0	40.9	59.1		Peso suelo seco que pasa (g) N°4
No. 30					Peso suelo seco retenido (g) N°4
No. 40	93.1	44.3	55.7		Peso suelo seco total (g)
No. 50					
No. 60	111.4	46.8	53.2		Condiciones de la fracción de suelo seco que pasa la malla:
No. 100	127.9	49.0	51.0		
No. 140					% suelo seco que pasa/peso de la fracción de suelo seco que pasa
No. 200	144.2	51.2	48.8		
Plástico	144.4				



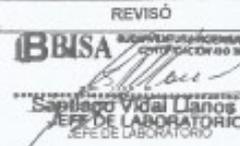
CLASIFICACION SUCS: OH / Arcillas orgánicas de plasticidad media.

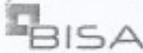
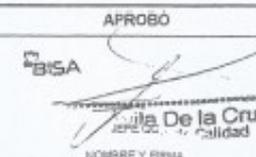
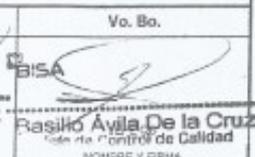
Proveniencia: Plataforma de Tecnosoles / DMI Este

Contenido de humedad de la fracción de Suelo seco que pasa la malla: N°4	% de suelo seco que pasa la malla No. 200 :
	48.8

No. Tara	B-12	No. Tara	B-12
Peso Húmedo + Tara g	802.3	Peso Seco + Tara g	755.8
Peso Seco + Tara g	755.8	P. Seco Lavado + Tara g	390.5
Peso de Tara g	246.1	Peso de Tara g	246.1
Peso del Agua g	146.5	Suelo Seco (-No. 200) g	365.3
Peso Seco g	509.7	Suelo Seco (+No. 200) g	144.4
Cont. de humedad %	28.7	Suelo Seco (-No. 200) %	48.8

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina
Material colocado en la 3ra hectárea del DMI Turmalina.

EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.	RESULTADO
 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Ayila De la Cruz Control de Calidad	 Basilio Ayila De la Cruz Jefe de Control de Calidad	CUMPLE NO CUMPLE NO APLICA
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA	

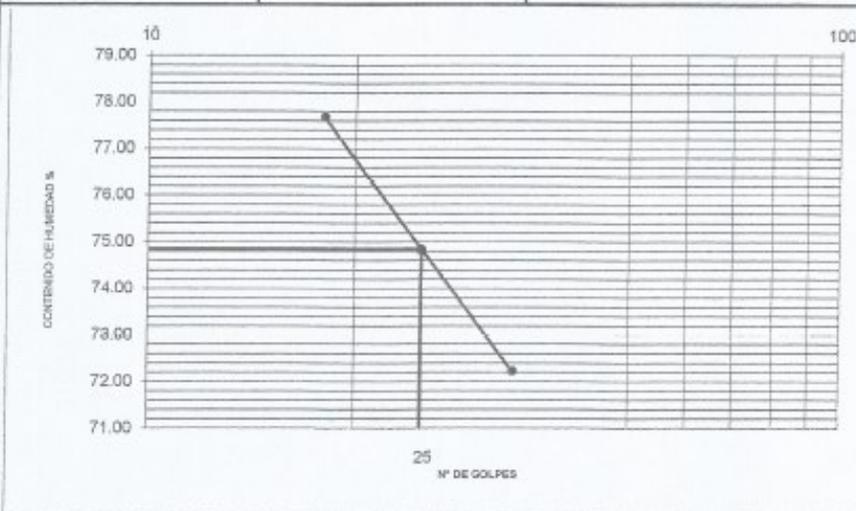
		 GESTIÓN DE CONTROL DE CALIDAD	
Título: CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216			
Nro. de revisión: 1	Fecha de revisión: Feb. 2018	Página 2 de 3	
Obra: ACÓPIO TOP SOIL / CIERRE CONVENCIONAL	Fecha muestreo: 05/02/2018	Muestra No. Top Soil - 01	
Descripción: Material para Top Soil.		Curva No. -	
Muestreado por: Juan Daniel Moncada Espinoza.			
Condiciones de Secado: X 80°C / 110°C	Método: X Horno (O)	Microonda (M)	
Muestra No.			
Ubicación	X = 732127.150	Y = 9244316.750	Cota, m.s.n.m 3530.000
Profundidad			
Muestra o ensayo	1		
RECIPIENTE No	B-03		
Pr + Ph	A g	1536.3	
Pr + Ps	B g	1122.0	
Pr	C g	251.5	
P. AGUA	D = A - B	414.3	
Ps	E = B - C	870.5	
% DE HUMEDAD (D/E) * 100		47.8	
CLASIFICACION SUCS	OH / Arcillas orgánicas de plasticidad media.		
OBSERVACIONES	Contenido de humedad de toda la muestra. Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina		
Muestra No.			
Ubicación			
Profundidad			
Muestra o ensayo			
RECIPIENTE No			
Pr + Ph	A g		
Pr + Ps	B g		
Pr	C g		
P. AGUA	D = A - B		
Ps	E = B - C		
% DE HUMEDAD (D/E) * 100			
CLASIFICACION SUCS			
OBSERVACIONES			
PR= PESO DEL RECIPIENTE			
PH= PESO HUMEDO			
PS= PESO SECO			
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ	Vo. Bo.
 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	 Basilio Ayala De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	 Basilio Ayala De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA	FECHA

 		
Título: LÍMITES DE CONSISTENCIA E ÍNDICE DE PLASTICIDAD ASTM D4318		
Nro de revisión: 1	Fecha de revisión: Feb 2018	Página: 3 de 3

Obra: ACOPIO TOP SOIL / CIERRE CONVENCIONAL	Fecha muestreo: 05/02/2018	Muestra No.: Top Soil - 01
Localización X = 732127.150	Y = 9244316.750	Cota m.s.n.m.: 3530.000
Descripción: Material para Top Soil.	Capa (m): -	Curva No.: -

LÍMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO				
Muestra o ensayo	1	2	3	
No DE GOLPES	34	25	18	
RECIPiente No	D1	D2	D3	
Pr + Ph g	41.34	40.38	38.53	
Pr + Ps g	35.80	35.18	34.82	
P. AGUA g	5.54	5.20	5.01	
Pr g	28.13	28.23	28.07	
Ps g	7.87	8.95	6.45	
% DE HUMEDAD	72.23	74.82	77.67	
LÍMITE PLÁSTICO				
RECIPiente No	D4	D5		
Pr + Ph g	40.89	40.07		
Pr + Ps g	38.46	35.85		
P. AGUA g	4.53	4.22		
Pr g	28.35	28.32		
Ps g	8.08	7.53		
% DE HUMEDAD	58.06	58.04		
PROMEDIO LÍMITE PLÁSTICO (PL)	56.1			

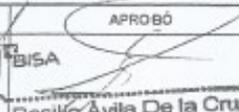


RESULTADOS

HUMEDAD NATURAL %:	47.6
LÍMITE LÍQUIDO %:	74.8
LÍMITE PLÁSTICO %:	56.1
ÍNDICE DE PLASTICIDAD %:	19

No. Golpes	Factor K
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

OBSERVACIONES: Material de cobertura para cierre de mina / DMI Turmalina

PR= PESO DEL RECIPIENTE	TEMPERATURA DE SECADO	AGUA USADA
PH= PESO HUMEDO	PREPARACION DE LA MUESTRA	DESTILADA X OTRA
PS= PESO SECO	CONTENIDO DE HUMEDAD	POTABLE
EJECUTÓ	REVISÓ	APROBÓ
		
Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	Santiago Vidal Llanos A. JEFE DE LABORATORIO	Basilio Avila De la Cruz JEFE DE CONTROL DE CALIDAD
NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA	NOMBRE Y FIRMA
FECHA	FECHA	FECHA
RESULTADO CUMPLE <input type="radio"/> NO CUMPLE <input type="radio"/> NO APLICA <input type="radio"/>		

Anexo n° 3: Ensayo de Corte Directo

LH-M-2018-155 / TECNOSOL ANDICO (TA)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 - ASTM D 3080)

ESTADO DE LA MUESTRA:	ALTERADA	VELOCIDAD DE ENSAJO:	0.15 mm/min	CLASIFICACIÓN SUCS:	NO PRECBA
-----------------------	----------	----------------------	-------------	---------------------	-----------

DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 0.50 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.00 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.50 Kg/cm ²	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
	ALTURA DEL ESPECIMEN (cm)	2.20	2.18	2.20	2.13	2.20
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	46	49	46	47	46	46
PESO MOLDE + MUESTRA	192.55	88.79	192.56	87.45	192.63	92.97
PESO MUESTRA	70.71	70.06	70.72	68.22	70.79	67.96
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	1.64	1.64	1.64	1.63	1.64	1.66
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1.12	1.10	1.12	1.11	1.12	1.13
DEFORMACIÓN	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	
0.00	0.00		0.00		0.00	
0.20	0.06		0.08		0.13	
0.40	0.12		0.15		0.20	
0.60	0.17		0.21		0.27	
0.80	0.21		0.26		0.34	
1.00	0.25		0.30		0.40	
1.20	0.30		0.34		0.46	
1.60	0.35		0.40		0.51	
2.00	0.39		0.45		0.57	
2.40	0.43		0.52		0.63	
2.80	0.45		0.54		0.69	
3.20	0.48		0.57		0.73	
3.60	0.50		0.61		0.77	
4.00	0.54		0.65		0.80	
4.40	0.56		0.66		0.84	
4.80	0.59		0.72		0.87	
5.20	0.62		0.75		0.89	
5.60	0.65		0.77		0.92	
6.00	0.66		0.78		0.94	
6.40	0.67		0.80		0.96	
6.80	0.69		0.82		0.98	
7.20	0.70		0.83		1.01	
7.60	0.71		0.85		1.01	
8.00	0.72		0.86		1.01	
8.40	0.72		0.87		1.02	
8.80	0.72		0.87		1.03	
9.20	0.72		0.87		1.03	
9.60	0.71		0.87		1.03	
10.00	0.71		0.87		1.03	
11.00	0.71		0.87		1.03	
12.00	0.71		0.87		1.03	

ALTURA DE MOLDE (cm)	2.20
DIÁMETRO DE MOLDE (cm)	5.00
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	43.20
PESO DE MOLDE (cm ³)	121.94

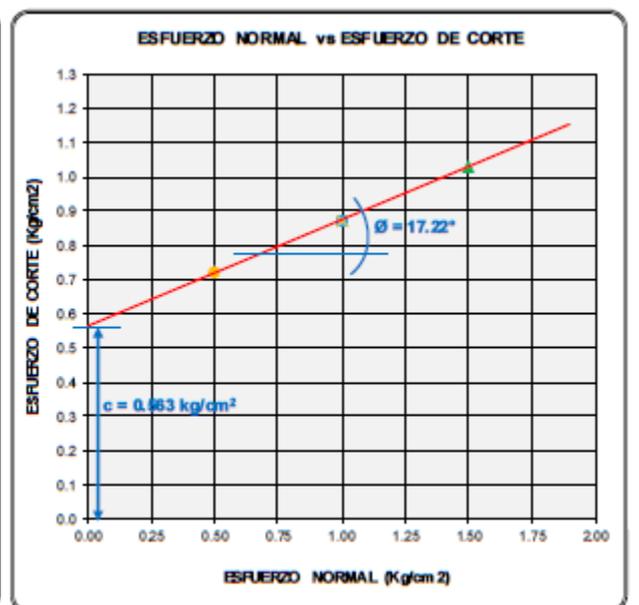
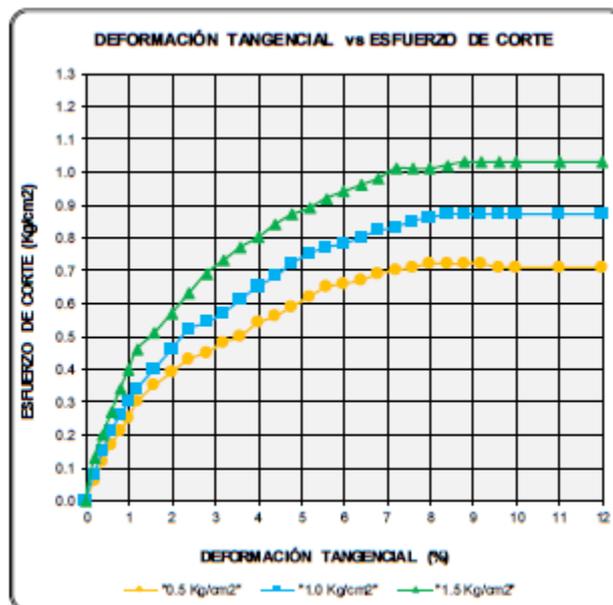
CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 01		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tare	12	13
P.T. (gr)	19.03	18.73
P.T. + W ₁ (gr)	96.07	88.79
P.T. + W ₂ (gr)	71.93	65.78
W _w (gr)	24.14	23.01
W _s (gr)	52.90	47.05
w%	46	49

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 02		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tare	14	15
P.T. (gr)	19.21	19.23
P.T. + W ₁ (gr)	88.97	87.45
P.T. + W ₂ (gr)	67.10	65.70
W _w (gr)	21.87	21.75
W _s (gr)	47.89	46.47
w%	46	47

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 03		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tare	16	17
P.T. (gr)	18.74	25.01
P.T. + W ₁ (gr)	118.74	92.97
P.T. + W ₂ (gr)	87.10	71.44
W _w (gr)	31.64	21.53
W _s (gr)	66.36	46.43
w%	46	46

ESPECIMEN	DEFOM (mm)	DEFOM (cm)
ESP N° 01	-0.222	-0.0222
ESP N° 02	-0.708	-0.0708
ESP N° 03	-1.044	-0.1044

RESULTADOS		
φ (°)	c (kg/cm ²)	c (tm ²)
17.22	0.563	5.633



LH-M-2018-156 / TECNOSOL REDUCTOR (TR)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 - ASTM D 3080)

ESTADO DE LA MUESTRA:	ALTERADA	VELOCIDAD DE ENSAYO:	0.15 mm/min	CLASIFICACIÓN SUCS:	NO PRECISA
-----------------------	----------	----------------------	-------------	---------------------	------------

DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 0.50 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.00 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.50 Kg/cm ²	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
ALTIMA DEL ESPECIMEN (cm)	2.20	2.13	2.20	2.04	2.20	1.99
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	38	52	38	52	38	49
PESO MOLDE + MUESTRA	164.00	61.12	164.25	63.31	164.20	61.76
PESO MUESTRA	42.16	42.36	42.41	44.42	42.36	42.73
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm ³)	0.98	1.01	0.98	1.11	0.98	1.09
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0.71	0.67	0.71	0.73	0.71	0.73
DEFORMACIÓN	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	
0.00	0.00		0.00		0.00	
0.20	0.03		0.06		0.07	
0.40	0.06		0.08		0.10	
0.60	0.09		0.10		0.16	
0.80	0.12		0.15		0.23	
1.00	0.14		0.18		0.28	
1.20	0.17		0.21		0.30	
1.60	0.18		0.28		0.35	
2.00	0.19		0.30		0.39	
2.40	0.21		0.31		0.45	
2.80	0.21		0.34		0.49	
3.20	0.23		0.36		0.52	
3.60	0.23		0.38		0.56	
4.00	0.24		0.41		0.57	
4.40	0.25		0.43		0.59	
4.80	0.27		0.43		0.60	
5.20	0.28		0.44		0.61	
5.60	0.29		0.46		0.62	
6.00	0.30		0.48		0.63	
6.40	0.30		0.49		0.64	
6.80	0.31		0.50		0.66	
7.20	0.33		0.51		0.67	
7.60	0.33		0.52		0.68	
8.00	0.33		0.52		0.69	
8.40	0.34		0.52		0.69	
8.80	0.35		0.52		0.70	
9.20	0.36		0.53		0.72	
9.60	0.36		0.54		0.73	
10.00	0.36		0.54		0.73	
11.00	0.36		0.54		0.73	
12.00	0.36		0.54		0.73	

ALTIMA DE MOLDE (cm)	2.20
DIÁMETRO DE MOLDE (cm)	5.00
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	43.20
PESO DE MOLDE (cm ³)	121.61

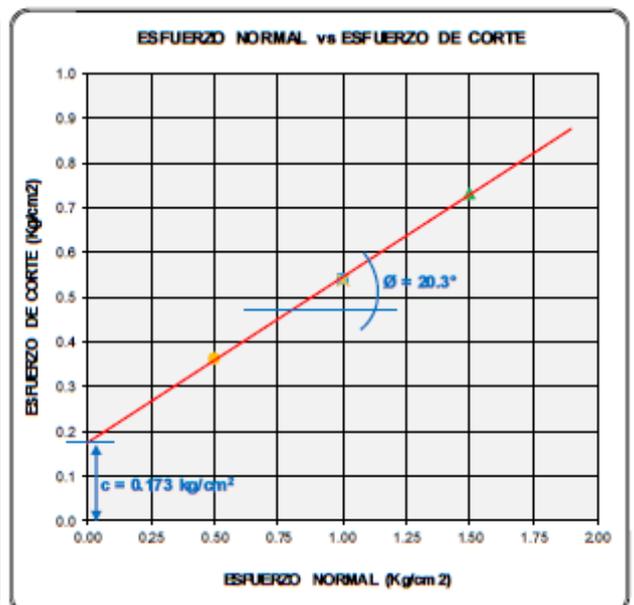
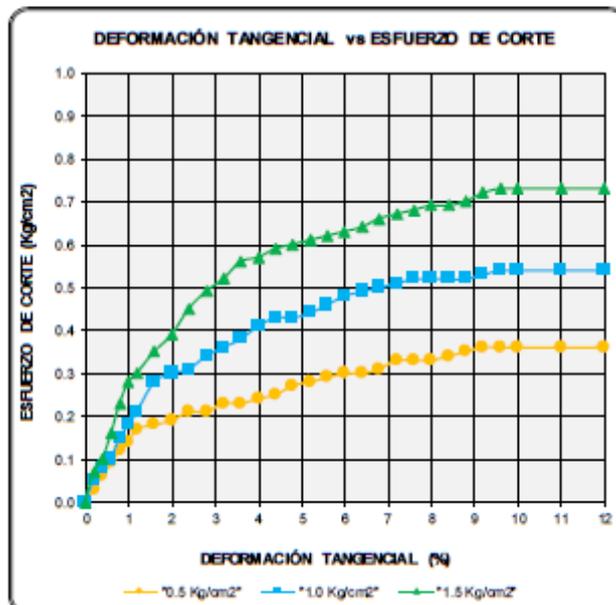
CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 01		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	7	8
PT. (gr)	24.72	18.76
PT. + W _{inh} (gr)	86.27	61.12
PT. + W _{ms} (gr)	69.40	46.68
W _w (gr)	16.87	14.44
W _s (gr)	44.68	27.92
w%	38	52

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 02		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	9	10
PT. (gr)	25.16	18.89
PT. + W _{inh} (gr)	96.76	60.31
PT. + W _{ms} (gr)	76.50	48.18
W _w (gr)	19.26	15.13
W _s (gr)	51.34	29.29
w%	38	52

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 03		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	11	12
PT. (gr)	25.42	19.03
PT. + W _{inh} (gr)	74.25	61.76
PT. + W _{ms} (gr)	60.70	47.63
W _w (gr)	13.55	14.13
W _s (gr)	35.28	26.60
w%	38	49

ESPECIMEN	DEFOM (mm)	DEFOM (cm)
ESP N° 01	-0.733	-0.0733
ESP N° 02	-1.597	-0.1597
ESP N° 03	-2.076	-0.2076

RESULTADOS		
φ (°)	c (kg/cm ²)	c (t/m ²)
20.30	0.173	1.733



LH-M-2018-157 / TECNOSOL EUTROFICO (TE)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 - ASTM D 3080)

ESTADO DE LA MUESTRA:	ALTERADA	VELOCIDAD DE ENBAYO:	0.15 mm/min	CLASIFICACIÓN SUS:	NO PRECISA
-----------------------	----------	----------------------	-------------	--------------------	------------

DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 0.50 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.00 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.50 Kg/cm ²	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
	ALTURA DEL ESPECIMEN (cm)	2.20	2.15	2.20	2.09	2.20
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	41	42	41	42	41	43
PESO MOLDE + MUESTRA	174.86	72.56	175.01	68.15	174.98	66.37
PESO MUESTRA	53.02	47.67	53.17	49.01	53.09	47.73
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.23	1.13	1.23	1.19	1.23	1.19
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0.87	0.80	0.87	0.84	0.87	0.84
DEFORMACIÓN	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	
0.00	0.00		0.00		0.00	
0.20	0.04		0.05		0.06	
0.40	0.09		0.11		0.11	
0.60	0.12		0.18		0.18	
0.80	0.15		0.23		0.22	
1.00	0.16		0.26		0.27	
1.20	0.18		0.28		0.32	
1.60	0.20		0.31		0.38	
2.00	0.22		0.33		0.43	
2.40	0.23		0.35		0.46	
2.80	0.25		0.36		0.49	
3.20	0.28		0.37		0.53	
3.60	0.30		0.39		0.56	
4.00	0.31		0.40		0.58	
4.40	0.32		0.43		0.61	
4.80	0.33		0.44		0.65	
5.20	0.34		0.45		0.66	
5.60	0.35		0.46		0.67	
6.00	0.36		0.46		0.67	
6.40	0.37		0.47		0.68	
6.80	0.39		0.48		0.70	
7.20	0.39		0.50		0.70	
7.60	0.39		0.51		0.73	
8.00	0.40		0.54		0.73	
8.40	0.41		0.56		0.74	
8.80	0.42		0.57		0.75	
9.20	0.42		0.57		0.76	
9.60	0.43		0.59		0.76	
10.00	0.43		0.60		0.76	
11.00	0.43		0.60		0.76	
12.00	0.43		0.60		0.76	

ALTURA DE MOLDE (cm)	2.20
DIÁMETRO DE MOLDE (cm)	5.00
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	43.20
PESO DE MOLDE (cm ³)	121.84

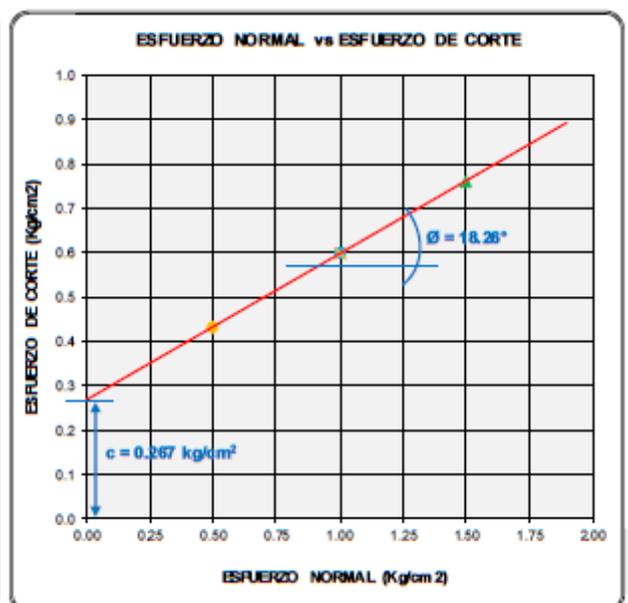
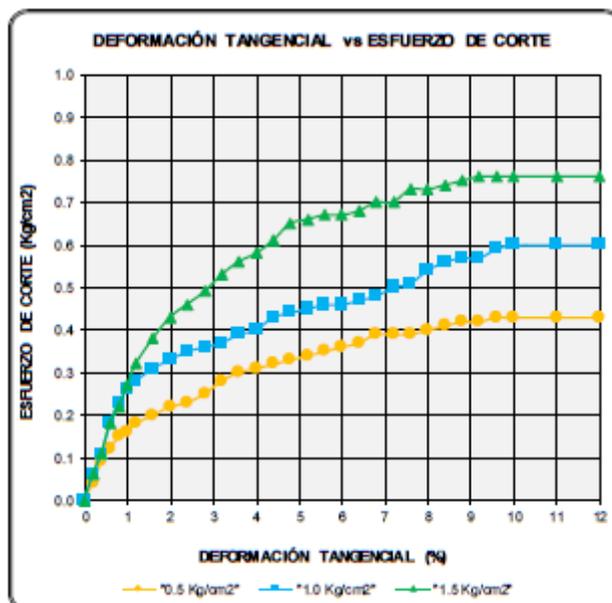
CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 01		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	1	2
PT. (gr)	18.37	24.89
PT. + W _{inh} (gr)	86.68	72.56
PT. + W _{se} (gr)	66.77	58.45
W _w (gr)	19.91	14.11
W _s (gr)	46.40	33.56
w%	41	42

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 02		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	3	4
PT. (gr)	24.63	19.14
PT. + W _{inh} (gr)	96.15	66.15
PT. + W _{se} (gr)	77.52	53.54
W _w (gr)	21.63	14.61
W _s (gr)	52.89	34.40
w%	41	42

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 03		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tara	5	6
PT. (gr)	19.01	18.64
PT. + W _{inh} (gr)	110.33	66.37
PT. + W _{se} (gr)	80.90	52.11
W _w (gr)	26.43	14.26
W _s (gr)	64.89	33.47
w%	41	43

ESPECIMEN	DEFOM (mm)	DEFOM (cm)
ESP N° 01	-0.518	-0.0518
ESP N° 02	-1.067	-0.1067
ESP N° 03	-1.591	-0.1591

RESULTADOS		
φ (°)	c (kg/cm ²)	c (t/m ²)
18.26	0.267	2.667



LH-M-2018-158 / SPS

ENSAYO DE CORTE DIRECTO (NTP 339.171 - ASTM D 3080)

ESTADO DE LA MUESTRA:	ALTERADA	VELOCIDAD DE ENSAYO:	0.15 mm/min	CLASIFICACIÓN SUCS:	NO PRECISA
-----------------------	----------	----------------------	-------------	---------------------	------------

DESCRIPCIÓN	ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 0.50 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.00 Kg/cm ²		ESPECIMEN N° 01 ESFUERZO NORMAL 1.50 Kg/cm ²	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
ALTIMA DEL ESPECIMEN (cm)	2.20	2.13	2.20	2.08	2.20	2.03
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	89	63	88	61	89	62
PESO MOLDE + MUESTRA	181.83	73.82	181.82	69.69	181.87	78.36
PESO MUESTRA	59.99	54.62	59.98	50.95	60.03	53.21
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm ³)	1.39	1.30	1.39	1.25	1.39	1.33
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	0.74	0.80	0.74	0.78	0.74	0.82
DEFORMACIÓN	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)		ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	
0.00	0.00		0.00		0.00	
0.20	0.06		0.08		0.08	
0.40	0.09		0.12		0.15	
0.60	0.10		0.16		0.22	
0.80	0.12		0.19		0.27	
1.00	0.13		0.25		0.30	
1.20	0.14		0.25		0.33	
1.60	0.16		0.28		0.39	
2.00	0.18		0.31		0.44	
2.40	0.19		0.35		0.49	
2.80	0.21		0.38		0.55	
3.20	0.23		0.39		0.59	
3.60	0.25		0.41		0.60	
4.00	0.28		0.46		0.62	
4.40	0.30		0.46		0.64	
4.80	0.31		0.47		0.67	
5.20	0.32		0.48		0.69	
5.60	0.33		0.49		0.69	
6.00	0.33		0.50		0.71	
6.40	0.34		0.51		0.72	
6.80	0.34		0.52		0.73	
7.20	0.35		0.54		0.73	
7.60	0.36		0.54		0.73	
8.00	0.36		0.55		0.76	
8.40	0.37		0.56		0.76	
8.80	0.37		0.57		0.77	
9.20	0.38		0.57		0.77	
9.60	0.39		0.57		0.77	
10.00	0.39		0.57		0.77	
11.00	0.39		0.57		0.77	
12.00	0.39		0.57		0.77	

ALTIMA DE MOLDE (cm)	2.20
DIÁMETRO DE MOLDE (cm)	5.00
VOLUMEN DE MOLDE (cm ³)	43.20
PESO DE MOLDE (cm ³)	121.84

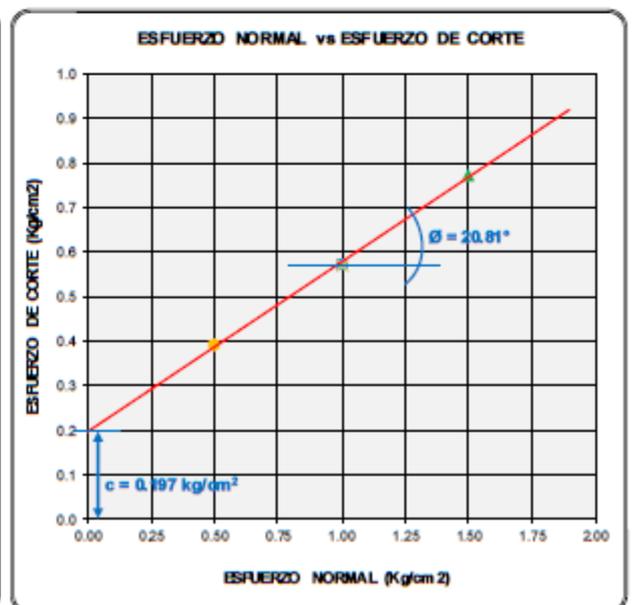
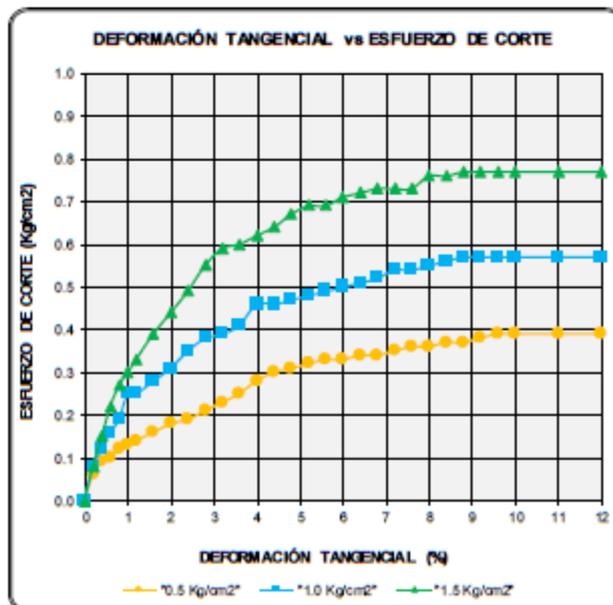
CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 01		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tasa	13	14
P.T. (gr)	18.72	19.20
P.T. + W _h (gr)	86.93	73.82
P.T. + W _w (gr)	56.44	52.78
W _w (gr)	33.49	21.04
W _h (gr)	37.72	33.58
w%	89	63

CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 02		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tasa	15	16
P.T. (gr)	19.22	18.74
P.T. + W _h (gr)	112.52	66.69
P.T. + W _w (gr)	68.78	50.41
W _w (gr)	43.74	19.28
W _h (gr)	46.56	31.67
w%	88	61

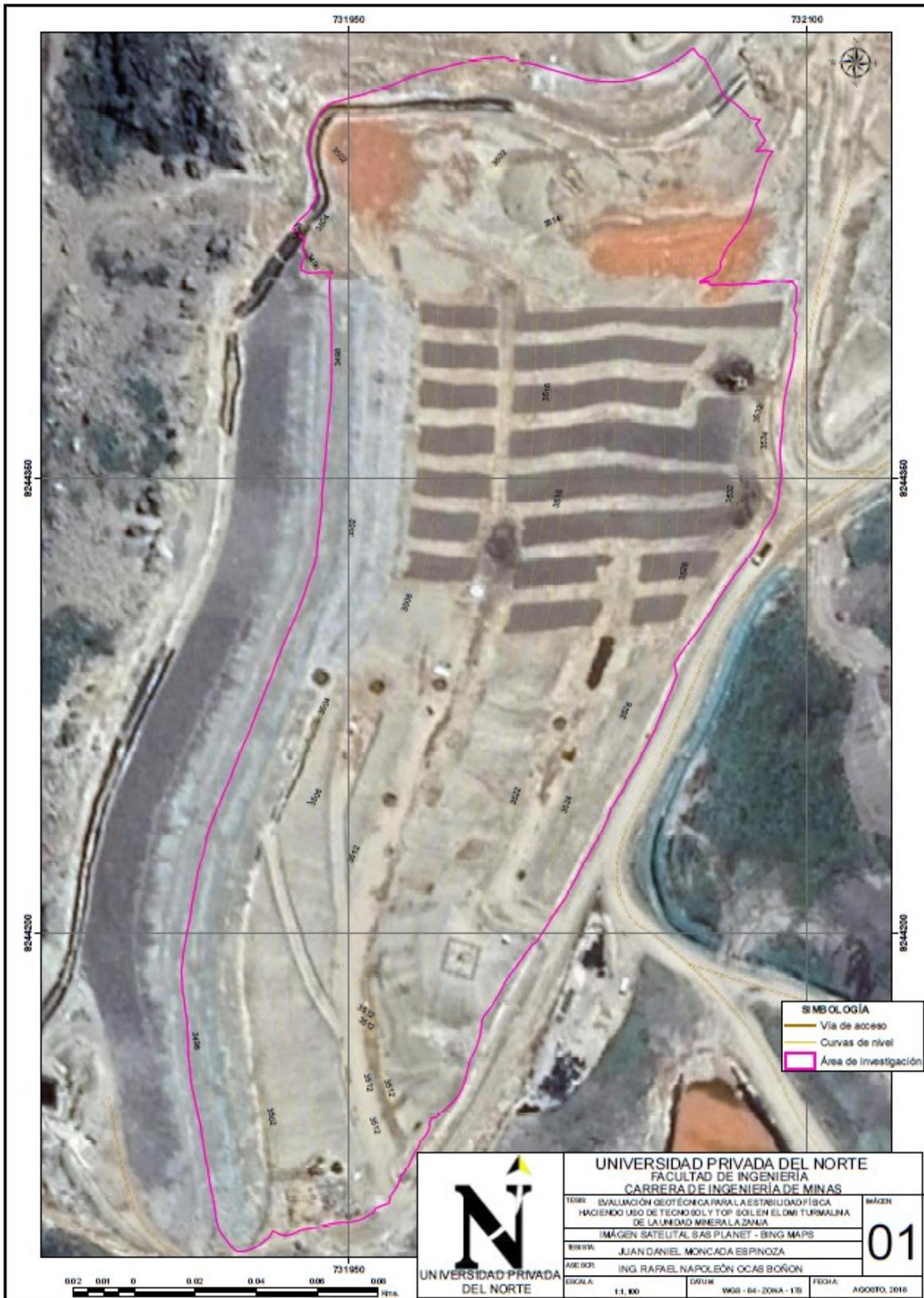
CONTENIDO DE HUMEDAD - ESP N° 03		
DESCRIPCIÓN	INICIAL	FINAL
N° de Tasa	17	18
P.T. (gr)	25.01	25.15
P.T. + W _h (gr)	124.13	78.36
P.T. + W _w (gr)	77.47	58.04
W _w (gr)	46.66	20.32
W _h (gr)	52.46	32.89
w%	89	62

ESPECIMEN	DEFOM (mm)	DEFOM (cm)
ESP N° 01	-0.666	-0.0669
ESP N° 02	-1.247	-0.1247
ESP N° 03	-1.672	-0.1672

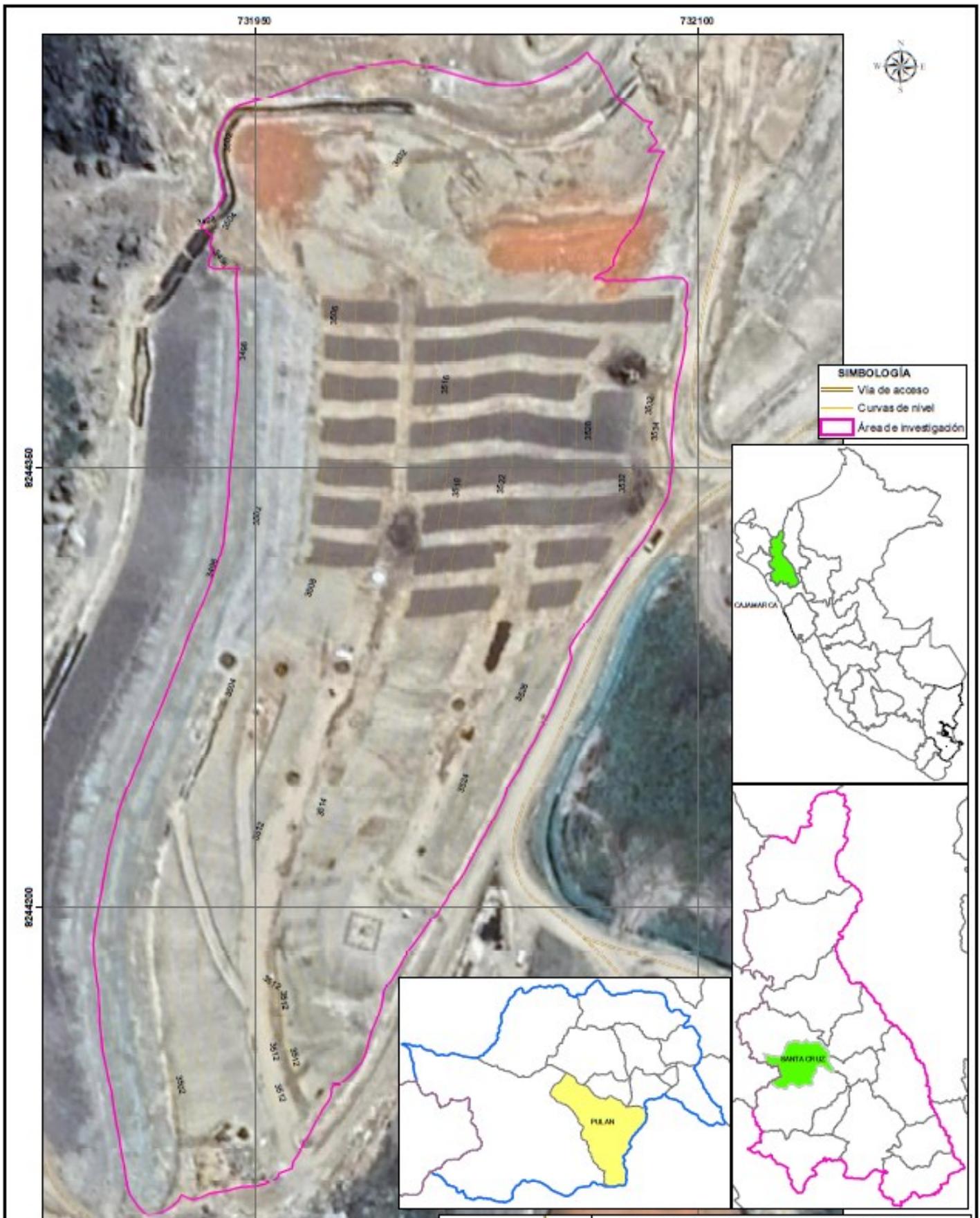
RESULTADOS		
φ (°)	c (kg/cm ²)	c (t/m ²)
20.81	0.197	1.967



Anexo n° 4: Imágenes

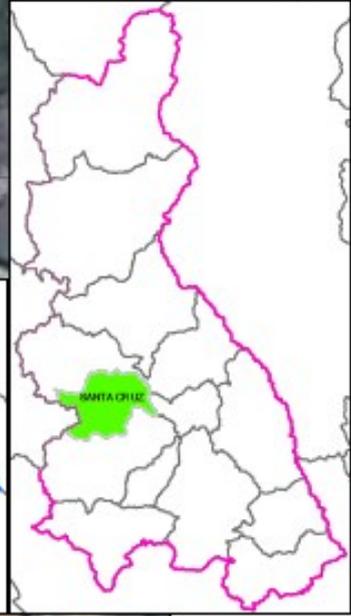


Anexo n° 5: Planos



SIMBOLOGÍA

-  Vía de acceso
-  Curvas de nivel
-  Área de investigación



0.02 0.01 0 0.02 0.04 0.06 0.08

