



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN EL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA ESTE,
SECTOR COYOCTOR, CANTÓN EL TAMBO, PROVINCIA DEL CAÑAR**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

JAIME GUSTAVO RAMÍREZ ANDRADE

DIRECTOR:

ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ. Mgs.

MAYO 2017



DECLARACIÓN

Yo, **Jaime Gustavo Ramírez Andrade**, autor de la tesis “**Análisis de Estabilidad de Talud en el lugar de emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona Este, Sector Coyector, Cantón El Tambo, Provincia del Cañar**”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad Católica de Cuenca, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este un requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad Católica de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Jaime Gustavo Ramírez Andrade
C.I: 0104291936



CERTIFICACIÓN

Certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación **“Análisis de Estabilidad de Talud en el lugar de emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Zona Este, Sector Coyoctor, Cantón El Tambo, Provincia del Cañar”**, son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Ing. Luis Mario Almache Sánchez
DIRECTOR



DEDICATORIA

A mi esposa por ser un apoyo incondicional estos años, a mis padres, hermanos, a mi querida suegra y especialmente a mi amado hijo por ser un luchador, la persona más fuerte y valiente que conozco y es quien a su corta edad me enseña cada día que nada es imposible, él es mi motivación y mi motor.



AGRADECIMIENTO

A mi esposa, padres, hermanos quienes han permanecido a mi lado brindándome su cariño, a mi suegra por el apoyo incondicional y la confianza depositada en mí estos años.

Mi agradecimiento más sincero al Ing. Luis Mario Almache por su apoyo y asesoramiento en el presente proyecto.



CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO GENERAL	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE GRÁFICOS	IX
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXO N°1 GRÁFICOS MODELACIÓN DE PERFILES	59
ANEXO N°2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ZONA Y PERFIL	85



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. General.....	1
1.2.2. Específico.....	1
1.3. Hipótesis Planteada	2
1.4. Ubicación de la zona de estudio	2
1.5. Características climatológicas de la zona	4
1.6. Metodología Planteada.....	6
1.7. Componentes del Proyecto.....	7
 CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS, SISMICAS Y TOPOGRÁFICAS	 9
2.1. Generalidades.....	9
2.1.1. Revisión de la información bibliográfica	9
2.2. Geomorfología.....	9
2.3. Geología regional	10
2.4. Fisiografía de la zona.....	12
2.5. Geología local	12
2.6. Estratigrafía de la zona.....	12
2.7. Análisis de los depósitos presentes en la zona	16
2.8. Morfología de la zona en estudio.....	17
2.9. Topografía de la zona	17
2.10. Geología Estructural	17
2.11. Marco Tectónico	18
2.12. Riesgos Volcánicos.....	20
2.13. Análisis del peligro sísmico de la zona de estudio	20



CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO	23
3.1. Introducción al movimiento	23
3.2. Movimiento de masas	23
3.3. Tipos de movimientos	24
3.3.1. Movimientos en materiales sueltos	24
3.3.1.1. Deslizamientos	24
a. Deslizamiento Rotacional.....	25
b. Deslizamiento Traslacionales.....	26
3.3.1.2. Flujos	28
3.3.1.3. Reptación.....	29
3.3.1.4. Desplazamiento lateral	29
3.3.2. Movimiento en masas rocosas.....	30
3.3.2.1. Desprendimientos	30
3.3.2.2. Avalanchas Rocosas.....	30
3.3.2.3. Volcamiento.....	31
3.3.2.4. Deslizamiento en Cuña.....	32
3.3.2.5. Deslizamiento Planar	32
3.3.2.6. Caída de rocas.....	33
3.4. Análisis del suelo encontrado en la zona en estudio	33
3.4.1. Evaluación Geotécnica del sitio	34
3.4.1.1. Metodología aplicada para la caracterización geotécnica.....	34
3.4.1.2. Recopilación de información pre existente.....	34
3.4.1.3. Investigación geotécnica de campo.....	35
3.4.1.4. Sondeo realizado.....	35
3.4.1.5. Ensayos realizados en el laboratorio en función de las normas	37
3.4.1.6. Parámetros encontrados en la zona.....	37
3.4.1.7. Comparación de resultados	38
3.4.1.8. Parámetros condicionantes en el talud	38
3.5. Hidrogeología de la zona	39
3.6. Clasificación del movimiento	39
3.7. Perfiles asumidos para la modelación.....	40



CAPÍTULO IV.- MODELIZACIÓN DEL TALUD	43
4.1. Análisis de la estabilidad de talud con plano de falla circular	43
4.2. Análisis por el Método de Equilibrio límite	43
4.2.1. Métodos de Bishop y Janbu	44
4.3. Software utilizado	44
4.4. Recomendaciones del FS en zonas vulnerables	45
4.5. Cálculo de los factores de seguridad	45
4.6. Modelación Perfil C – C	46
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1. Recomendaciones generales	51
5.2. Reconformación de la superficie del talud	51
5.2.1. Determinación de pendiente estable y generación de bermas	52
5.2.2. Medidas hidráulicas planteadas	52
5.2.3. Drenaje superficial	53
5.2.4. Canales interceptores a mitad del talud	53
5.2.5. Dren Francés	54
5.2.7. Materiales para subdrenes de zanja	54
5.3. Recomendaciones de mitigación	55
5.4. Conclusiones	55
5.5. Futuras líneas de investigación	57



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico I. Modelación perfil C – C condiciones normales de trabajo, método Bishop, localización del plano de falla	61
Gráfico II. Modelación perfil C – C, método de Janbu, condiciones normales de trabajo	62
Gráfico III. Modelación perfil C – C con efecto de un sismo, método aplicado Bishop, con plano de falla inferido por el software	64
Gráfico IV: Modelación perfil C – C con efecto de un sismo, método aplicado Janbu, con plano de falla inferido por el software	65
Gráfico V: Modelación perfil C – C, con nivel de agua sobre la superficie, método aplicado Bishop	67
Gráfico VI: Modelación perfil C – C, con nivel de agua sobre la superficie, método aplicado Janbu, dovelas generadas por el programa	68
Gráfico VII. Modelación perfil C – C, nivel freático a 3 m bajo la superficie, método aplicado Bishop, se observa las dovelas generadas	70
Gráfico VIII. Modelación perfil C – C, nivel freático a 3 m bajo la superficie, método de Janbu	71
Gráfico IX: Modelación perfil C – C, condición nivel freático a 5 m de la superficie, método Bishop	73
Gráfico X: Modelación perfil C – C, condición de nivel freático a 5 m bajo la superficie, método de Janbu	74
Gráfico XI. Modelación perfil B – B, condición normales, método aplicado Bishop, longitud de profundidad del plano de falla	76
Gráfico XII: Modelación perfil B – B, condición sísmica, método Bishop, parte baja del talud límite con la planta de tratamiento	78
Gráfico XIII: Modelación perfil B – B, condición nivel de agua bajo la superficie, método de Bishop	80
Gráfico XIV: Modelación perfil B – B, condición nivel freático a 3 m de la superficie, método de Bishop	82
Gráfico XV: Modelación perfil B – B, nivel freático a 5 m bajo la superficie, método de Bishop	83



ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía I. Sedimentos de la formación Turi, sobre el nivel de arenas finas la superficie puede generar planos de deslizamientos	14
Fotografía II. Tillitas y coluviales sobre la formación Turi, al tope de la secuencia de la cuenca sedimentaria	15
Fotografía III. Reptación presentan en la zona	29
Fotografía IV. Ensayo SPT ejecutado en la zona de estudio	36
Fotografía V. Muestra obtenida de la perforación realizada	36
Fotografía VI. Vista de la planta de tratamiento en la zona de estudio y los perfiles asumidos para la modelación del talud.....	41



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Mapa Político del Ecuador y ubicación de la zona en estudio	3
Figura II. Mapa de comunidades del Cantón El Tambo y ubicación de la zona de estudio.....	4
Figura III. Pluviosidad presente en la zona	5
Figura IV: Mapa de rango de temperatura del cantón El Tambo.	6
Figura V: Regiones Geológicas del Ecuador	11
Figura VI: Esquema Geomorfológico; PC Planicie Costera; CO Cordillera Occidental; VI Valle Interandino; CAL Cuenca Alamor –Lancones; CR Cordillera Real; ZSA	11
Figura VII. Regiones Naturales del Ecuador	18
Figura VIII. Esquema Tectónico del Ecuador.....	19
Figura IX. Mapa peligro sísmico del Ecuador en aceleraciones g.	22
Figura X. Deslizamiento en suelos blandos.....	25
Figura XI. Esquema de un deslizamiento rotacional típico	26
Figura XII. Esquema de un deslizamiento traslacional	26
Figura XIII. Movimiento en flujo dependiente de su velocidad.....	28
Figura XIV. Esquema de un desplazamiento lateral	30
Figura XV. Esquema de un movimiento avalancha rocosa	31
Figura XVI. Esquema de un volcamiento en bloque	31
Figura XVII. Esquema de un deslizamiento en cuña	32
Figura XVIII. Esquema de un deslizamiento planar	32
Figura XIX. Bosquejo del movimiento caída de rocas.....	33
Figura XX. Perfiles asumidos para la modelación cotas y abscisas.....	42



INDICE DE TABLAS

Tabla I. Características de la amenaza sísmica en función de la zona	21
Tabla II. Clasificación del deslizamiento en función de su profundidad.....	27
Tabla III. Clasificación del deslizamiento en función de la velocidad de movimiento.....	27
Tabla IV. Parámetros encontrados en la zona de estudio en el año 2013	35
Tabla V. Parámetros encontrados en la actualidad de la zona en estudio.....	37
Tabla VI. Factores utilizados en la modelación de los taludes.....	38
Tabla VII. Factores de seguridad obtenidos en la modelación perfil C - C	47
Tabla VIII. Factores de seguridad obtenidos en la modelación perfil B - B	49



RESUMEN

En la región Austral, el problema de inestabilidad de taludes y laderas es frecuente; en provincias como Azuay y Cañar, las formaciones geológicas presentes son en diversas ocasiones las causantes del movimiento de las masas del suelo; a más de lo mencionado, existen diversos factores que juegan un papel fundamental a la hora de la inestabilidad de un talud, siendo el resultado de la sumatoria de los factores condicionantes para los desencadenantes, lo que dará la estática o dinámica al talud.

En el Cantón El Tambo perteneciente a la provincia del Cañar, se está suscitando un problema de inestabilidad, en la zona Este del sector de “Cocyotor”, la obra civil construida, puntualmente “La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales”, se ve afectada por este movimiento. Propiedades físico – mecánicas del suelo al igual que las condiciones climatológicas, son los principales desencadenantes de un deslizamiento del talud; el presente estudio contempla el análisis de la estabilidad de taludes en la zona, centrando la investigación en los sectores aledaños a la planta, considerando factores como: fluctuación del nivel freático, sismología de la zona y las condiciones de trabajo habitual, los taludes analizados en función de estos parámetros de manera general, presentan una dinámica en su análisis.

Una vez analizados los factores desencadenantes, en función de la principal causa del movimiento, se propone medidas mitigantes al mismo, basadas principalmente en dos aspectos, cambio de la geometría del talud por medio de generación de bermas y por otra parte, drenajes superficiales para evitar que la infiltración de agua lluvia fomente el movimiento.

El análisis se realizó por el método de equilibrio límite a través de un software especializado en la rama, verificando que la zona se encuentra en movimiento.

Palabras claves:

ANÁLISIS DE SUELOS, ESTABILIDAD DE TALUDES, PENETRACIÓN ESTÁNDAR, EQUILIBRIO LÍMITE.



ABSTRACT

In the southern region, the problem of unstable slopes and hillsides is frequent; in provinces like Azuay and Cañar, the current geological formations are in several occasions causing the movement of the masses of soil; even though, there are several factors that play a fundamental role in the instability of a slope, being the result the sum of the conditioning factors for the triggers which will give static or dynamic to the slope.

In the Canton El Tambo belonging to the province of Cañar, there is a problem of instability, in the eastern area of the "Cocyotor", the civil works, exactly "The Wastewater Treatment Plant", is been affected by this slope movement. Physical and mechanical properties of the soil as well as the climatic conditions are the main triggers of a slope slip; this study involves analyzing slope stability in the area, focusing the research on areas surrounding the plant, considering factors such as: fluctuation of the phreatic level, seismology of the area and the usual working conditions, slopes analyzed according to these parameters generally exhibit a dynamic in its analysis.

After analyzing the triggers, depending on the primary cause of movement, mitigating measures are proposed, based mainly on two aspects, changing the geometry of the slope by generating berms and moreover, surface drainage to prevent rainwater infiltration.

The analysis was carried out by the equilibrium limit method through a specialized software in the branch, verifying that the zone is in movement.

Keywords:

SOIL ANALYSIS, STABILITY OF SLOPES, STANDAR PENETRATION, EQUILIBRIUM LIMIT.



CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El impulso de construcción de estructuras hidráulicas y el desenvolvimiento de obras de protección contra la acción de los ríos, han puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden.

Tanto por el aspecto de inversión, como por las consecuencias derivadas de su falla, los taludes constituyen hoy en día unas de las estructuras ingenieriles que exigen mayor cuidado por parte del proyectista. Cabe recalcar que, gracias al advenimiento de la Mecánica de Suelos, hoy en día es posible realizar un estudio racional aplicado al diseño de taludes, normas y criterios.

Estas normas y criterios apuntan directamente a la durabilidad del talud, esto es a su estabilidad a lo largo del tiempo. Para ello se analizará el área donde se encuentra emplazada la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Tambo, considerada de riesgo por las características que visiblemente se presentan en la zona, estas son notables grietas.

Por medio de las visitas al campo, con el análisis y obtención de parámetros de las muestras extraídas del lugar en estudio, mediante la ayuda de un software especializado para la modelación, considerando diferentes variables que afectan al equilibrio de las laderas, se realizará un modelamiento del movimiento, en función de los resultados obtenidos se podrá considerar las alternativas de solución acorde a las causas del problema.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Analizar la estabilidad actual del talud localizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cantón Tambo, Provincia del Cañar, considerada como área de riesgo para la estructura de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Posteriormente, al análisis global, dar una solución acorde al factor desencadenante principal que produce la inestabilidad.

1.2.2. Específico

- a. Analizar los datos recopilados tanto Geológicos – Geotécnicos, así como Hidrológicos de la zona.



- b. Analizar en el laboratorio las muestras de suelo extraídas, encontrado los parámetros físico – mecánicos del talud.
- c. Caracterizar el movimiento.
- d. Modelar el movimiento utilizando un programa especializado en Análisis de Equilibrio Límite, determinando los factores de seguridad en base a la superficie de deslizamiento y a los parámetros conocidos.
- e. Recomendar una medida estabilizadora en base al factor desencadenante asumido como el de mayor incidencia para el deslizamiento.

1.3. Hipótesis Planteada

Desde un punto de vista global la pendiente topográfica del lugar donde se encuentra emplazada la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, así como procesos hidrológicos de la zona, son las principales causas de la visible figuración y aparente movimiento de tierra.

Las frecuentes lluvias en conjunto con la existencia de un canal de riego sin revestimiento en la parte superior del talud en estudio, a aproximadamente 300 metros, presumen una formación de arroyadas e infiltración en el terreno.

Si el agua retenida no se evapora y se produce una aportación continuada (infiltración), produciendo una saturación de la tierra y el agua empieza a fluir hacia zonas más bajas, dará lugar a encharcamientos y erosión del talud.

La arroyada colabora con el movimiento de arrastre superficial, en tanto que la infiltración participa en el aumento de la plasticidad del terreno, y en el incremento del carácter lubricante de los niveles de despegue.

Si en la modelación del deslizamiento, se logra mejorar las propiedades resistentes del suelo (que son las que controlan la resistencia al corte de los materiales), disminuyendo el nivel freático, la infiltración y considerando obras de drenaje, se aumentaría las fuerzas estabilizadoras del terreno y por consiguiente el incremento del factor de seguridad hasta un valor acorde al necesario.

1.4. Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio que se considerará, se encuentra en el sector de Coyoctor, en las coordenadas UTM: 732100 E, 970850 N y en la cota 2980msnm, en la parroquia El Tambo del cantón El Tambo, provincia del Cañar.

Ésta zona se ubica fuera del área urbana de la ciudad de Cañar, en la margen izquierda del río Cañar, no obstante, el lugar de emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está localizado en un área no inundable, ya que el nivel freático, de conformidad a las excavaciones realizadas en anteriores estudios de Geología y Geotecnia se encuentra a profundidades mayores a los 3,0 m.



En la figura 1 se observa el mapa político del Ecuador y la ubicación de la provincia del Cañar.

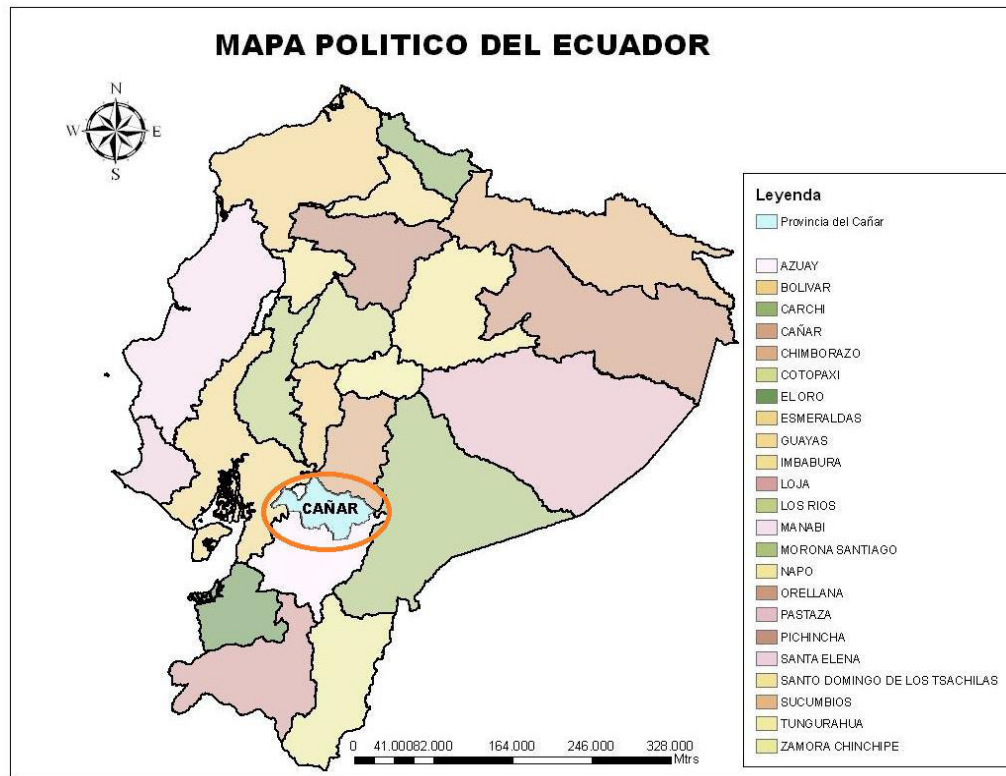


Figura 1. Mapa Político del Ecuador y ubicación de la zona en estudio.

Fuente: Autor

En la figura 2 se observa el mapa de comunidades del cantón El Tambo en donde se encuentra ubicado el sector Coyoctor, zona de estudio.



Figura II. Mapa de comunidades del Cantón El Tambo y ubicación de la zona de estudio.

Fuente: Autor

1.5. Características climatológicas de la zona

El cantón El Tambo se encuentra a una altura promedio de 3.160 msnm, en una zona fría y alta de la sierra ecuatoriana, con clima Ecuatorial de Alta montaña, su temperatura media es de 11,8 grados centígrados.

Recibe una pluviosidad media de entre 500 a 1200 mm por año. Por su parte el área del sector Coyoctor se encuentra en varios rangos de precipitación, los cuales oscilan entre 401 a 600 mm y entre 601 a 800 mm, siendo éste último el lugar en donde se va a ejecutar el análisis de estabilidad de talud.

En la figura 3 se observa un mapa con los diferentes rangos de precipitación de la zona.

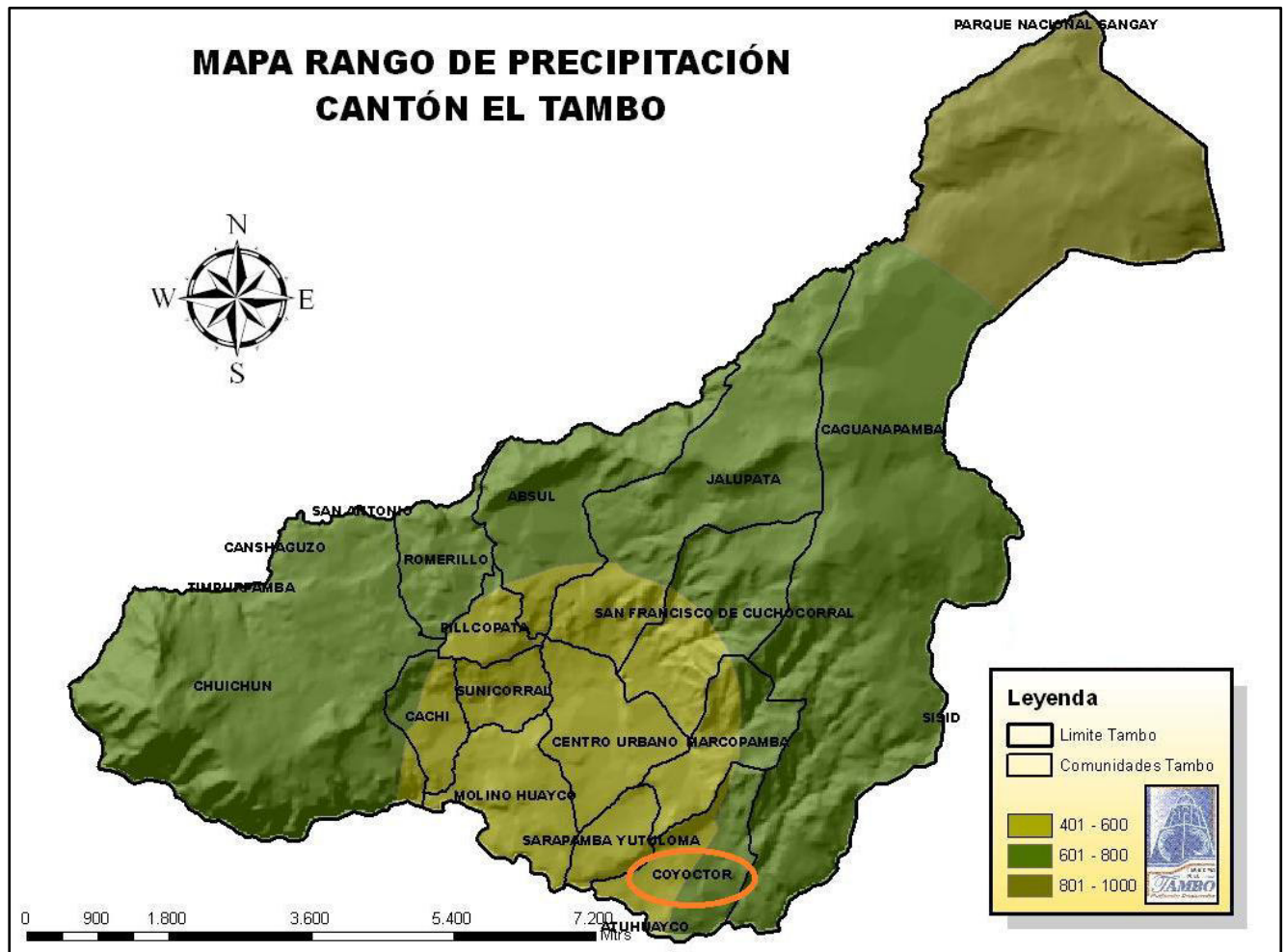


Figura III. Pluviosidad presente en la zona.

Fuente: Autor

El intervalo de temperaturas promedio anuales más extendido en el territorio es el que corresponde a los valores 8 – 10 C.

El sector de Coyector se encuentra ubicado en una temperatura que fluctúa entre los 10 a 12 C.

En la figura IV se observa un mapa con los rangos de temperatura de las comunidades del cantón El Tambo.

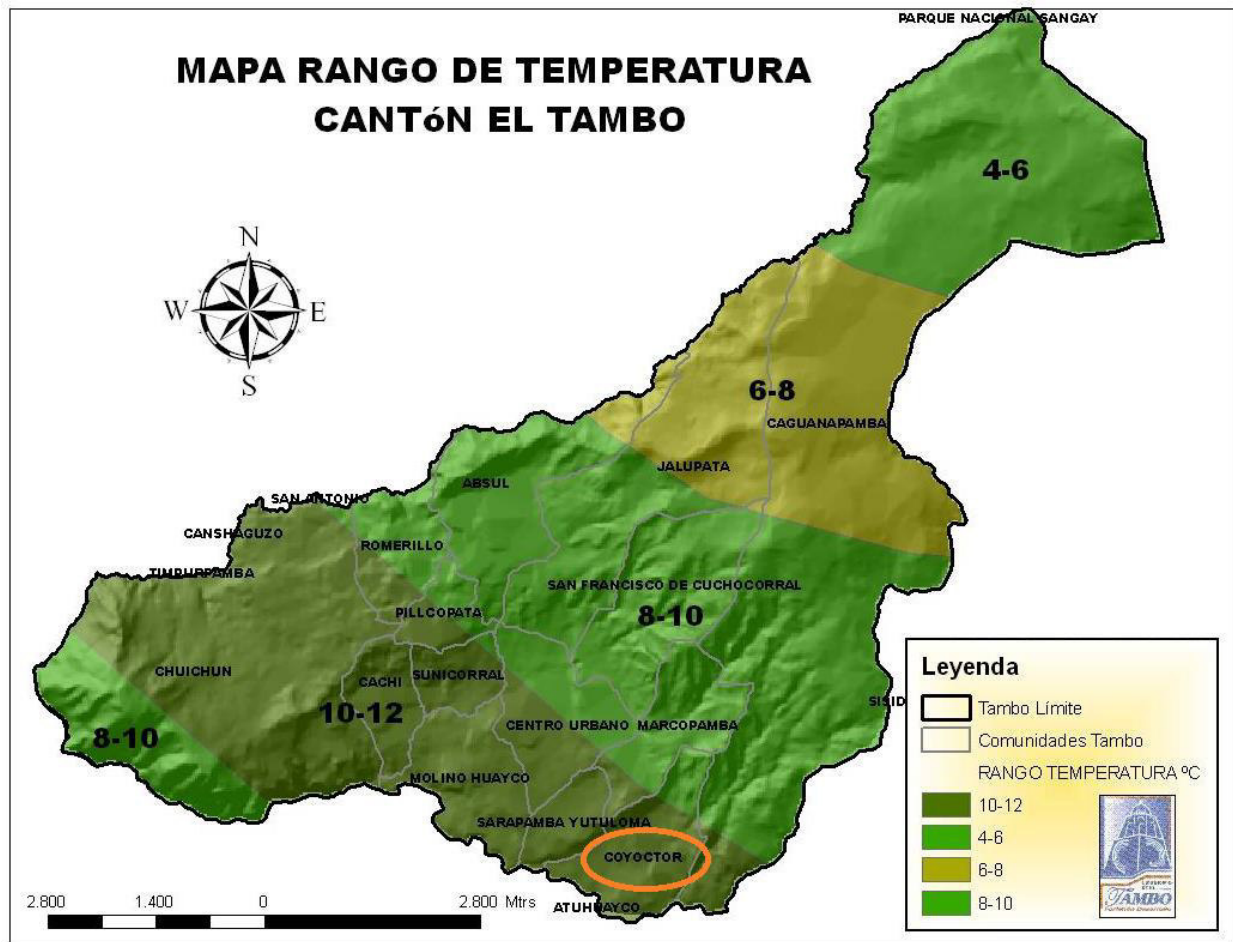


Figura IV: Mapa de rango de temperatura del cantón El Tambo.

Fuente: Autor

1.6. Metodología Planteada

- Adicional a las varias inspecciones de campo efectuadas al lugar de estudio, en donde se encuentra emplazada la planta de tratamiento de aguas residuales, para evaluar posibles factores desencadenantes, se realizó una recopilación de información sobre la zona de estudio planteada, resultados de ensayos de campo e instrumentación utilizada en la zona estudiada, información hidrológica, información climatológica, altimetría de la zona y resultados de estudios sísmicos de la zona.
- Se realizó nuevos estudios de suelos por medio de ensayos SPT con el fin de obtener los parámetros físico-mecánicos de la o las formaciones geológicas presentes en la zona.



- c. Con toda la información obtenida se identificó el tipo de deslizamiento en función del movimiento y su velocidad, permitiendo elegir los posibles métodos de estabilización en base a las características de este movimiento.
- d. Se analizó las capas actuantes en el deslizamiento y las superficies de falla presentes en el mismo en base a los resultados de perforaciones, monitoreo y geofísica realizada en la zona, de igual manera se generaron tres perfiles del deslizamiento, en función del levantamiento topográfico realizado.
- e. Con el programa especializado Slide 5.0, por el Método de Equilibrio Límite (MEL) se modeló el deslizamiento, dicho software tiene su base en el equilibrio de fuerzas y con los datos disponibles se encontraron parámetros de resistencia al corte de los materiales del medio, analizando los factores de seguridad (FS) obtenidos en base a las diferentes condiciones que se presenten, buscando llegar al FS recomendado para este tipo de taludes en base a la variación de los parámetros, para este método se analizó con un plano de falla asumido.
- f. En la modelación se consideraron diferentes factores que afectan a la estabilidad de taludes, desde las propiedades del material que lo conforman, posibles eventos sísmicos, así como la influencia directa de la fluctuación del nivel freático.
- g. Finalmente, con los resultados obtenidos del software especializado, se planteó una alternativa de solución al deslizamiento, recomendaciones y conclusiones del estudio.

1.7. Componentes del Proyecto

Posterior a este primer capítulo de “Generalidades” el presente tema de tesis propone el desarrollo y alcance de los siguientes capítulos:

- a. En el capítulo 2: “Características Geológicas, Geotécnicas, Sísmicas y Topográficas”, se recopiló la información de estos parámetros, tanto de la zona de estudio como del proyecto. De igual manera analizó la presencia de formaciones geológicas rocosas que puedan inferir en el movimiento o en su defecto generar problemas estabilizantes en la zona; factores de carácter sísmico también fueron valorados y utilizados en la modelación del talud.
- b. En el capítulo 3: “Caracterización del deslizamiento”, se analiza la información de ensayos: geotécnicos e instrumentación que identifican el tipo de material, nivel freático, presiones de agua, materiales débiles que influyen en el movimiento, distribución de materiales, propiedades físicas de los componentes. Esta información se utiliza en la modelación con el programa Slide 5.0. En base a ésta información se caracterizó al movimiento: forma, clasificarlo dentro de un tipo de movimiento determinado. Adicional en este capítulo se analizó los niveles freáticos presentes en la zona, se determinó el perfil con el cual se modeló el talud.



- c. En el capítulo 4: “Modelización del talud”, se procedió a modelar a la ladera por medio de software especializado, en el caso del Slide se utilizó el Método de Equilibrio Límite (Janbu / Bishop), conociendo los parámetros que gobiernan el talud, así como su superficie de fallo. Se modeló el talud considerando efectos sísmicos y finalmente con este programa se varió la profundidad del nivel freático observando el comportamiento del factor de seguridad en función de los parámetros descritos. Una vez identificado el problema principal se generó una alternativa de estabilidad por medio de la variación geométrica del talud a través de bermas; dichas bermas fueron modeladas nuevamente garantizando la estabilidad del talud y a su vez teniendo en consideración que el agua de infiltración puede generar movimientos de masas, se planteó alternativas por medio de drenes.
- d. En el capítulo 5: “Conclusiones y recomendaciones”, se presentan las conclusiones del análisis realizado y las recomendaciones de futuras líneas de análisis que se pueden realizar en el talud.



CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS, SÍSMICAS Y TOPOGRÁFICAS

2.1. Generalidades

Para realizar el análisis de los componentes geología, tectónica, hidrología y geomorfología se utilizó el siguiente esquema de trabajo.

2.1.1. Revisión de la información bibliográfica

Recopilación, análisis y discriminación de información: bibliográfica, cartográfica, fotográfica válida existente, como:

- a. Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1.000.000.
- b. Mapa Tectónico Metalogénico del Ecuador; escala 1:1.000.000.
- c. Mapa Geológico del Ecuador, Hoja de Azogues. Escala 1:100.000.
- d. Geología del Ecuador, Sawyer, W.
- e. Geografía y Geología del Ecuador, Wolf, T.
- f. Geología del Ecuador, Núñez Del Arco, E.
- g. Recopilación de estudios Geológicos del Ingeniero Marco Tulio Erazo.

Para realizar el análisis geomorfológico, se aplicó la misma metodología utilizada en el levantamiento y recolección de información del componente geológico, que consiste en la obtención de información geomorfológica de la zona mediante la recopilación, análisis y discriminación de información tanto bibliográfica, fotográfica válida existente.

2.2. Geomorfología

La zona en estudio ha sido formada bajo la acción de los últimos glaciales del pleistoceno, conservando aún rasgos de su actividad, presentando características propias en su morfología como se señala a continuación:

- a. Una meseta situada en las cotas 3200 msnm y la 3300 msnm, ocupada por la población de Honorato Vásquez y los caseríos de San Antonio y Manzana - Pata ubicados en el área urbana del Cañar. Presenta cuencas y quebradas de laderas marginales de altas gradientes a causa de su apoyo en las estribaciones de la cordillera Occidental.
- b. Presenta una zona baja con la apreciación de un valle que desciende desde las alturas de Buerán; muestra una extensa llanura limitada por las laderas del río Cañar y un sistema de lomas que van ascendiendo hacia la cordillera.



- c. Una zona correspondiente a las laderas del río Cañar caracterizada por su inestabilidad y una topografía determinada por la presencia de deslizamientos y hundimientos de diferente magnitud y edad.
- d. Otra zona caracterizada por un sistema de lomas y ladera que ascienden hacia las estribaciones de la cordillera.

2.3. Geología regional

El Ecuador por su ubicación al noroccidente de Sudamérica, tiene como su principal cadena orogénica Los Andes, misma que está emplazada en el sentido norte – sur, dividiendo al país en tres regiones completamente diferentes: La zona Oriental o región selvática en el Este del país, constituida principalmente por la cuenca amazónica superior y oscilan con altitudes entre los 200 m.s.n.m y los 800 m.s.n.m., en la zona Subandina presenta zonas que superan los 2000 m.s.n.m; la parte central o Sierra del país, está dividida por las cordilleras Oriental y Real, en el callejón interandino las alturas oscilan entre los 2500 a 2800 m.s.n.m hasta regiones altas cuyos picos están entre las cotas 5500 a 6310 m.s.n.m (Chimborazo). El lado oeste del Ecuador se ubica la Planicie Costera “Costa”, caracterizada por extensas llanuras bajas cubiertas por sedimentos terciarios y cuaternarios, con cordilleras que se ubican entre los 200 y 600 metros de altura, en esta planicie se encuentran las cuencas del Guayas, Progreso, Manabí, Borbón y la Península de Santa Elena una de las nuevas provincias en la actualidad. Y, finalmente una cuarta región separa de las otras tres descritas es la Región Insular o Archipiélago de Galápagos, ubicada a 972 km al oeste del continente (Arco, 2003).

En la figura V se observa las Regiones Geológicas del Ecuador, en la figura VI el esquema Geomorfológico del Ecuador.

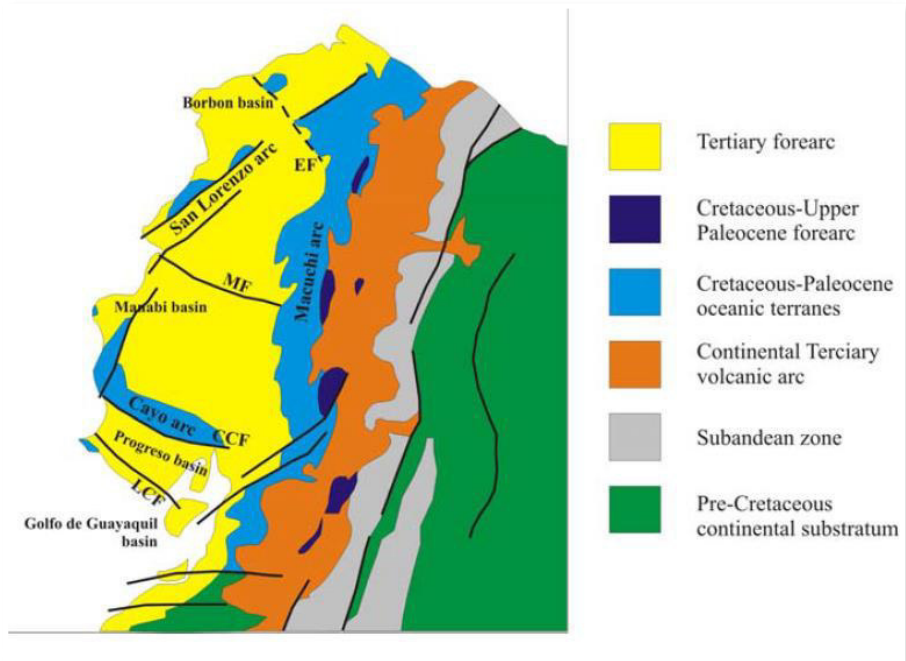


Figura V: Regiones Geológicas del Ecuador.

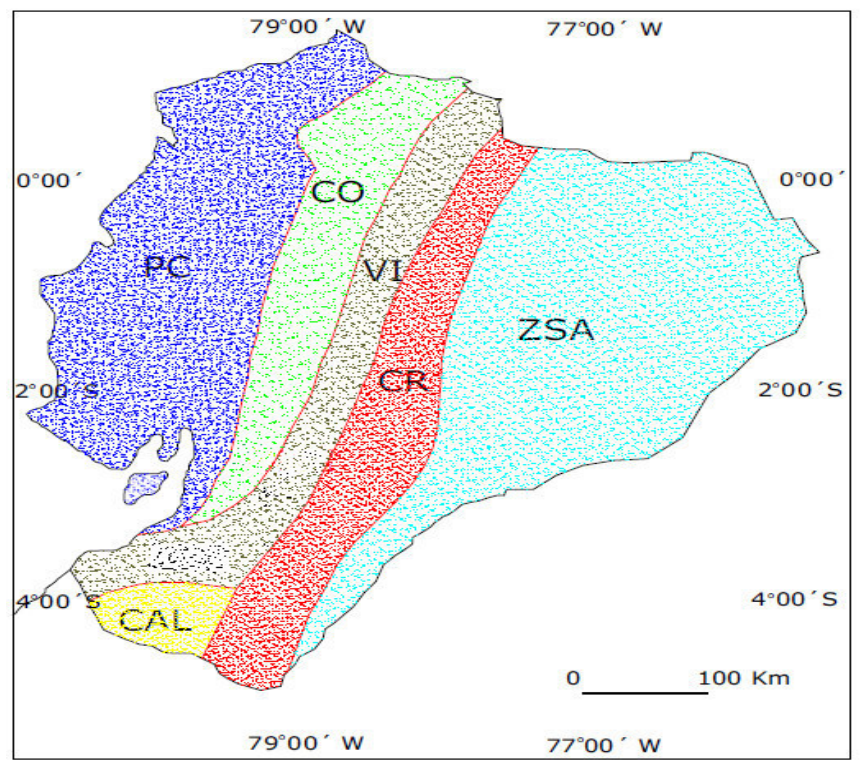


Figura VI: Esquema Geomorfológico; PC Planicie Costera; CO Cordillera Occidental; VI Valle Interandino; CAL Cuenca Alamor –Lancones; CR Cordillera Real; ZSA



2.4. Fisiografía de la zona

Cañar, está localizado en uno de los valles de las estribaciones sur del río que lleva el mismo nombre que el cantón y provincia; corren en dirección SE – NW excavando un profundo cauce en formaciones muy erosionables e inestables razón por la cual su influencia se extiende hasta muy lejos a ambos lados del cauce como se observa en la zona en estudio al igual que en la zona Molinohuayco que conjuntamente con la zona de Cañar, constituyen una unidad geológica – fisiográfica presentan problemas de estabilidad. (Erazo V., 2007).

2.5. Geología local

La geología de la roca tiene sus bases en rocas de origen volcánico – sedimentario del pleistoceno, las formaciones Turi y Tarqui. En ciertas zonas afloran depósitos de glaciaciones anteriores, hacia el oeste se puede encontrar andesitas de color verdosas y grises del Cretáceo (Erazo V., 2007).

Sobre el basamento en mención, las últimas glaciaciones depositaron materiales de procedencia volcánica que se los reconoce por su color plumizo y su constitución piroclástica; ocasionalmente engloban fragmentos negros de rocas basálticas de origen glacial. La inestabilidad que presentan los terrenos de la zona se debe principalmente a la permeabilidad de los depósitos glaciales y al contenido de arcilla de las rocas fundamentales que se vuelven plásticas con la humedad (Erazo V., 2007).

La zona se halla dentro de la Formación Turi definida por Erazo (1957) comprende rocas sedimentarias fluviales confinadas a la cuenca de Cuenca y sus alrededores Lahuate C y Bourgois J, 2005; la subdivide en tres Miembros denominados Santa Rosa, Turi y Cañar formados preferentemente de una variedad de rocas sedimentarias (limos, arcillas y areniscas). En el área de Cañar – Suscal consiste de conglomerados subhorizontales, conglomerados brechosos, limolitas, tobas primerias y retrabajadas (continuum volcánico). Descansa sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacida por la Formación Quimsacocha, nuevas dataciones (Steinmann, 1997) le dan una edad del Mioceno Tardío (8 – 9 Ma). La zona de estudio se halla bajo de los depósitos modernos de coluviales y morrenas, los cuales forman una capa de decímetros a pocos metros de potencia.

El territorio del cantón El Tambo, se hallan en la Cordillera de los Andes nor-septentrionales, específicamente en el centro - sur del Ecuador y de las cinco regiones morfo-estructurales se encuentran la Cordillera Occidental y la Cordillera Real; basado en ello se hará una descripción de la secuencia estratigráfica del área en estudio.

2.6. Estratigrafía de la zona

La Secuencia Estratigráfica del área en estudio está definida de la siguiente manera y en un orden cronológico:



2.6.1. Formación Piñón – Cretáceo

2.6.1.1. Edad

Tradicionalmente esta formación se ha catalogado como del Cretáceo, pero es probable que sus estratos más altos provengan del Terciario Inferior, esto ya que existe presencia de fragmentos de pizarras cretácicas englobadas en lavas andesíticas que son observables también en la carretera Cuenca – Molleturo. (Erazo V., 2007).

2.6.1.2. Localización y estructura

Esta formación contempla el núcleo de las alturas occidentales del Cañar que separan antiguos valles glaciales, en su dirección hacia el norte confluyen en las laderas del valle del río Cañar.

Los afloramientos se presentan en las cabeceras de los valles y los contactos profundizan un fuerte gradiente hacia el norte; la formación constituye todo el cuerpo de la loma de “Shillo” y tiene su prolongación hacia los límites urbanos. (Erazo V., 2007).

2.6.1.3. Litología

Esta formación es extrusiva, de rápido enfriamiento, con componentes andesíticos básicos hasta basálticos. En la zona de Cañar predominan lavas de carácter intermedio a ácido, las rocas más comunes son andesitas grises. (Erazo V., 2007).

2.6.2. Formación Santa Rosa

2.6.2.1. Edad

Data de la edad Pliocénica, se observa de manera directa sobre la formación Piñón.

2.6.2.2. Localización y estructura

Tiene su mayor presencia en los bordes de los valles glaciales y en las cumbres. Constituyen casi todo el subsuelo de la meseta de Quilloag – Iza Vieja – Mangacusana, esto ya que presentan afloramientos en el fondo de la quebrada “Pucuguayco”.

2.6.2.3. Litología

Su origen es sedimentario, con un predominio de las areniscas y arcillas rojizas intercaladas con facies conglomeráticas de rodados pequeños y matriz rojiza; los estratos arcillosos son irregulares. La arenisca que la componen presentan componentes de grano fino y grueso, estos últimos con presencias de cantos rodados oscuros. La presencia de fragmentos conglomeráticos son de rocas andesíticas grises o más básicas, en el contacto con formaciones nuevas se encuentra cuarzo.



2.6.3. Formación Turi

2.6.3.1. Edad

El nombre de esta formación proviene del poblado de Turi, De esta formación no se tiene información de fósiles, únicamente madera silificada y carbonizada. Se presume según la secuencia litológica de las otras unidades, que la edad de esta formación data del Pleistocénico.

2.6.3.2. Localización y estructura

Esta formación es apreciable en la bajada de la Panamericana hacia la ciudad, de igual manera se observa en la loma de Narrío y sus cercanías.

2.6.3.3. Litología

Es una formación sedimentaria constituida por conglomerados gruesos a finos, areniscas conglomeráticas, areniscas normales y arcillosas y estratos de lutitas amarillentas. Los conglomerados gruesos contienen rodados de andesíticas porfiríticas grises y abundantes fragmentos basálticos característicos de estos estratos. (Erazo V., 2007).

En el área de Cañar-Suscal consiste de conglomerados subhorizontales, conglomerados brechosos, limolitas, tobas primarias y retrabajadas. Descansa sobre el Grupo Saraguro y está sobreyacida por la Formación Quimsacocha, nuevas dataciones (Steinmann, 1997) le dan una edad del Mioceno Tardío (8-9Ma) en El Tambo. En la fotografía I se observa sedimentos pertenecientes a la formación Turi.



Fotografía I. Sedimentos de la formación Turi, sobre el nivel de arenas finas la superficie puede generar planos de deslizamientos.



2.6.4. Formación Tarqui

2.6.4.1. Edad

Su nombre fue dado por el Proyecto Minero de las Naciones Unidas, su localidad Tipo es el pueblo de Tarqui pero en la zona del Cañar tiene afloramientos. Su origen data del Pleistoceno Superior.

2.6.4.2. Localización y estructura

Esta formación constituye el sub suelo de la meseta San Antonio – La Capilla, aflorando en los barrancos que limitan dicha meseta y en ciertas zonas del valle que sostiene a la ciudad.

2.6.4.3. Litología

Se presenta como una formación clástica compacta formada por fragmentos angulares y cantos rodados de roca ígnea cementada; los clastos de origen ígneo basáltico, también presentan piroclastos finos, posiblemente de origen glacial. (Erazo V., 2007).

2.6.5. Formaciones Cuaternarias Recientes (Qal)

Son los depósitos morrénicos, terrazas levantadas, coluviales y aluviales que se hallan en la zona de estudio, por su baja consolidación pueden generar movimientos de terrenos y pueden sufrir intensos procesos erosivos como se muestra en la fotografía siguiente. Afloran desde la planicie costera hasta el páramo (CODIGEM, et al 1997).



Fotografía II. Tillitas y coluviales sobre la formación Turi, al tope de la secuencia de la cuenca sedimentaria.



2.7. Análisis de los depósitos presentes en la zona

El basamento está formado por rocas volcánicas ácidas cubiertas por rocas sedimentarias que corresponden a las formaciones de la parte norte de la cuenca de Cuenca y varios depósitos superficiales glaciares y fluvio-glaciares. Estas unidades se describen a continuación.

2.7.1. Depósitos Fluvio – Glaciares

Se han reconocido cinco depósitos fluvio-glaciares considerando su composición, morfología y disposición espacial, a través de un estudio de fotointerpretación geológica y comprobación en el terreno.

Estos depósitos están relacionados con el clima del último periodo glacial en la zona y en general en los Andes, donde las glaciaciones duraron varias decenas de miles de años, habiendo concluido la última hace solo 10000 años alcanzando alturas entre los 3800 y 4400 m.s.n.m (Clapperton & Vera, 1986).

Las glaciaciones máximas a nivel mundial están comprendidas entre los 0.55 y 0.02 Ma (Clapperton & Vera, 1986), por lo que se estima que los depósitos identificados en la zona de estudio tendrían una edad comprendida entre el Pleistoceno y el Holoceno.

2.7.2. Depósito Tambo

Se encuentra ubicado hacia el Este del área de estudio y el afloramiento típico se observa en los taludes de la carretera Panamericana en las coordenadas (730680, 9721540).

El cuerpo principal de este depósito (Plt1) se encuentra conformado por arenisca conglomeráticas del Miembro Turi dispuestos en una matriz arenosa color amarillo verdoso donde se reconocen líticos dacíticos, arcillosos, piroclásticos (pómez y tobas) y cuarzo lechoso libre.

Sobre este cuerpo principal se reconoce un nivel (Plt2) que consiste en un 90% de material areno-arcilloso y un 10% de clastos de tamaño máximo de hasta 10 cm. de composición andesítica a dacítica, sin presencia de bosques. El tope del depósito corresponde al suelo orgánico (SO) con un espesor promedio de 1 metro, que localmente presenta niveles de lapilli con espesores de hasta 10cm, así como niveles fluviales de espesor similar.

El depósito tiene un alto grado de humedad aun en temporadas secas y sobre él se desarrollan actividades agrícolas y construcciones de viviendas.

El depósito constituye una planicie con una inclinación general del 100% hacia el suroeste. El espesor total es desconocido, pero los afloramientos del sitio (730204, 9721260) tiene una potencia de aproximadamente 70 metros.



Estos materiales sobreyacen al Miembro Turi del cual ha obtenido su principal aporte. La depositación es contemporánea con la de los demás depósitos fluvio - glaciares presentes en la zona de estudio.

2.8. Morfología de la zona en estudio

La zona presenta una inclinación media - alta, catalogándolo como inclinado, con un clima ecuatorial semi – húmedo, un promedio de pluviosidad alrededor de los 900 mm y una temperatura promedio de 12° C, lo cual favorece a que en ciertas épocas se produzcan movimientos de terreno.

2.9. Topografía de la zona

La topografía del Cantón El Tambo varía entre los 2 300 y 4280 m.s.n.m.

El rango altimétrico más representativo se localiza en la comunidad de Cahuanapamba comprendido entre los 3600 a 4280 m.s.n.m. Territorio que pertenece al Parque Nacional Sangay, no así la altura de 2630 metros sobre el nivel del mar se encuentra en las comunidades que se encuentran cerca de la ribera del río Coyoctor.

La distribución de las pendientes conforma en general un paisaje agreste y empinado en toda la cuenca del río Coyoctor, específicamente en la comunidad de Chuichun.

En general la zona estudiada al igual que gran parte del Cañar, se caracteriza por una topografía determinada por la inestabilidad del suelo; pequeñas elevaciones aisladas como la de “Cashaloma” corresponden a áreas estables rodeadas por suelos que se han hundido o desplazado; pequeñas lomas también son causa de la parte del sub suelo que aflora al desplazarse o hundirse la capa superficial.

2.10. Geología Estructural

La tectónica se refiere a las estructuras geológicas que afectan a las rocas, en la zona de estudio, las principales estructuras presentes más notables están definidas por la presencia de extensas grietas de deslizamientos que con mayor o menor grado de actividad atraviesan de norte a sur a la ciudad y tiene su influencia en el sector de estudio.

En la zona de estudio no se aprecia la roca formada por los conglomerados de la formación Tuti, ya que superficialmente se aprecia los coluviones presentes y material transportado de derrumbes ocasionados en la zona, por lo cual no se puede realizar toma de datos referentes a planos de foliación o similares que favorezcan al movimiento en cualquier sentido de la roca.

En consecuencia, el Ecuador se encuentra ubicado en la convergencia de placas tectónicas de Nazca, la Sudamericana y Norandina, las cuales han originado que los rasgos principales de las estructuras tectónicas, se manifiesten en los rasgos morfológicos de nuestro país.

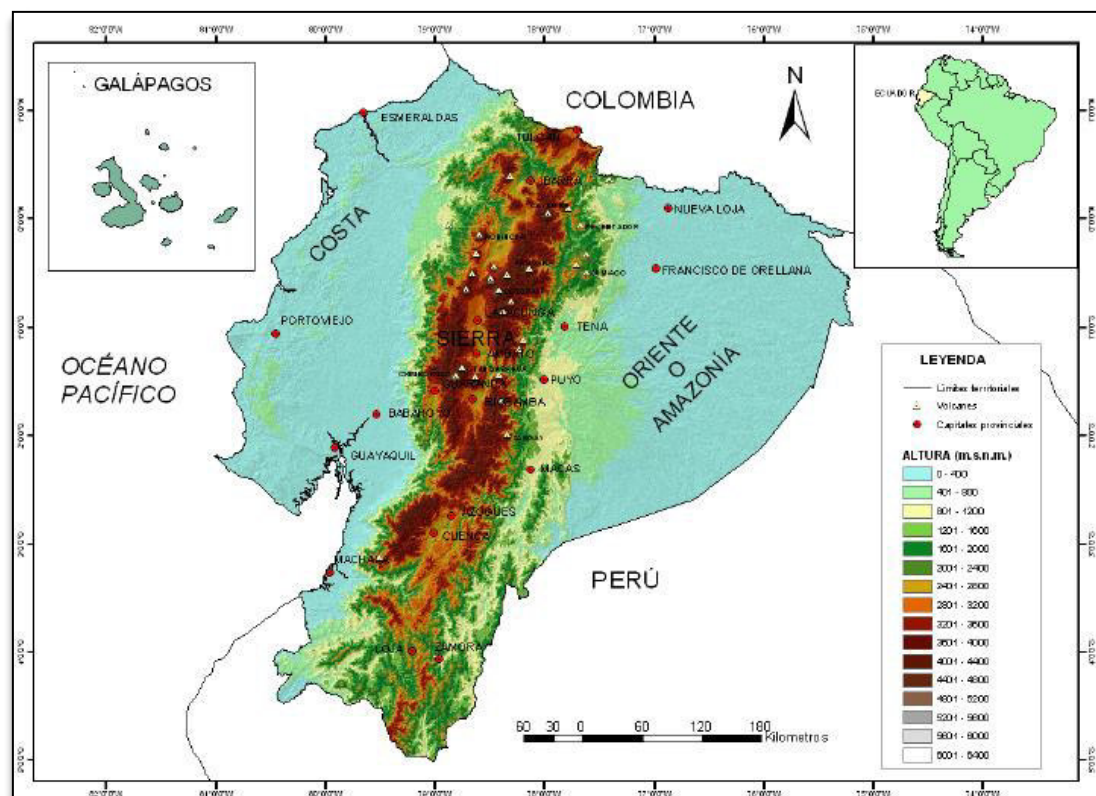


Figura VII. Regiones Naturales del Ecuador.

La tectónica de placas es la causante del proceso de movimiento de la placa de Nazca que, con un movimiento de oeste a este, penetra bajo la corteza de la placa Sudamericana creando una zona de subducción, a partir de la cual dio como resultado que emerja lo que hoy se conoce como la cordillera de los Andes hace 80 a 40 millones de años, dividiendo al país continental en tres regiones denominadas Costa, Sierra y Oriente.

Para entender el comportamiento de las placas de Nazca y Sudamericana frente al Ecuador es necesario conocer la historia de estas. Según Handschumacher (1976), de acuerdo a los estudios geofísicos marinos que realizó, ambas placas provienen de una con mayor antigüedad que se encontraban totalmente en subducción desde hace 25 Ma (Oligoceno), denominada Placa Farallón. Wortel & Cloeting (1981) analizaron la magnitud del estado de esfuerzos de esta placa para esa época y encontraron que se produjo una rotura que dio origen a una fragmentación en las placas Cocos (parte norte) y Nazca (parte sur), las cuales posteriormente cambiaron su dirección de desplazamiento.

Pilger (1981) determinó que posterior a la división de la placa Farallón, el movimiento relativo entre las placas Nazca y Sudamericana permaneció prácticamente constante los últimos 20 a 25 Ma. Sella et al. (2002), usando datos de GPS actuales determinaron una velocidad de convergencia de la placa de Nazca respecto a la Sudamericana de aproximadamente de 59 mm/año frente al Ecuador.

El avance incesante del proceso de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana, determina un comportamiento tectónico compresivo de la superficie ecuatoriana, siguiendo la dirección de la concurrencia entre la placa oceánica y la placa continental. La más clara evidencia de esta conducta se encuentra en el sector del frente Subandino, en las fallas inversas y en los pliegues ubicados dentro del callejón interandino.

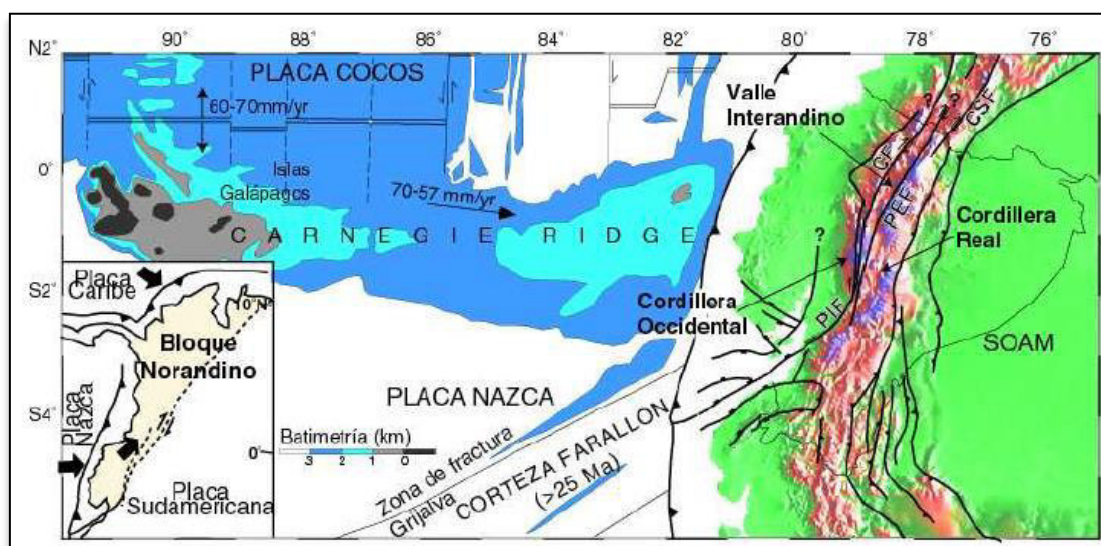


Figura VIII. Esquema Tectónico del Ecuador.



Es importante indicar que la llegada de la Dorsal de Carnegie a la fosa ecuatoriana constituye una zona de relevante resistencia a la subducción, ejerciendo esfuerzos compresivos complementarios dentro de la placa continental. Por otro lado, existen grandes trazos estructurales transversales a la cordillera de los Andes que afectan la fisiografía de esta zona y que podrían influir en su comportamiento tectónico.

Finalmente se puede señalar que las condiciones anteriormente explicadas favorecieron el origen de movimiento dextral a lo largo de fallas regionales dentro de la demarcación ecuatoriana.

2.12. Riesgos Volcánicos

El área del proyecto no presenta riesgos por efecto de erupciones volcánicas, caídas de ceniza, tomando en consideración que es una zona donde no existen volcanes activos, por lo cual no se considera este parámetro en el análisis de los taludes.

2.13. Análisis del peligro sísmico de la zona de estudio

El estudio del peligro sísmico guarda relación entre los parámetros de movimiento de suelo y su periodo de recurrencia; sin embargo, desde el punto de vista ingenieril, lo que interesa es conocer además los niveles de aceleración, velocidad y desplazamiento esperados en los diferentes sitios del área de estudio. (Quezada, B. 2016).

El peligro sísmico representa la probabilidad de que un valor dado de intensidad sísmica (aceleración, velocidad o desplazamiento), sea excedido en un lugar durante un periodo de tiempo determinado.

En el mapa de Sismicidad del Ecuador, se observa una acumulación de sismos superficiales hacia el norte de 1° de Latitud Sur, debido posiblemente a la mayor inclinación de la placa oceánica. En cambio, hacia el sur de esta latitud la sismicidad es más dispersa y sobre todo profunda, lo que implica que a pesar de ser una zona altamente sísmica no se tengan consecuencias catastróficas, esto implica que la región austral y sur del país tenga una actividad sísmica moderada debido a la mayor profundidad de los sismos. (Quezada, B. 2016).

De acuerdo a los estudios de regionalizaciones sísmicas, se puede concluir que todos coinciden con las tres regiones que tiene el territorio nacional, la diferencia está que, en cada una de ellas la subdivisión tiende a diferenciarse. En definitiva, se puede decir que la primera región abarca la zona de subducción, la cordillera costera y la cuenca arco fosa, en definitiva, la Costa; en la zona donde comienza la subducción los sismos son superficiales, con profundidades menores a los 60 Km. y que aumentan la profundidad a medida que la placa penetra en el continente.

Una segunda región corresponde al arco volcánico que comprende las cordilleras andinas y las diversas cuencas que se forman en su estructura; aquí los sismos son de profundidad intermedia, existiendo también sismos superficiales producto del fallamiento debido al levantamiento de los Andes. (Quezada, B. 2016).



Una tercera gran región corresponde al cinturón trasarco, con sismos que tienen profundidades mayores a los 150 Km, también se tiene sismicidad superficial hacia el sur de los 2°.

El área de estudio se encuentra ubicado en la zona sismogénica III y IV, los sismos son profundos con eventos superficiales escasos. Se tiene sismicidad relacionado con la falla Pallatanga, la misma que se extiende desde Riobamba, continuando por el Triunfo, Naranjal hasta llegar a la parte sur del golfo de Guayaquil y la microsísmica provocada por los movimientos diferenciales de la falla Girón. Para el presente proyecto, en la modelación por efecto de sismo se consideró la zona sísmica IV.

Para la determinación del valor de la aceleración sísmica de diseño, se ha utilizado el mapa de peligros sísmicos elaborado en el año 2011, para ser incorporado al Código Ecuatoriano de la Construcción NEC 2011.

La tabla I indica el mapa de zonificación sísmica presente en el país, la categoría otorgada, el valor de aceleración y la caracterización de la amenaza sísmica, para la zona IV se tiene una caracterización de amenaza sísmica alta y un valor Z de 0,35.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla I. Características de la amenaza sísmica en función de la zona

En la figura IX se observa el mapa de peligros sísmicos en aceleraciones g para un periodo de retorno de 200 años en el país.

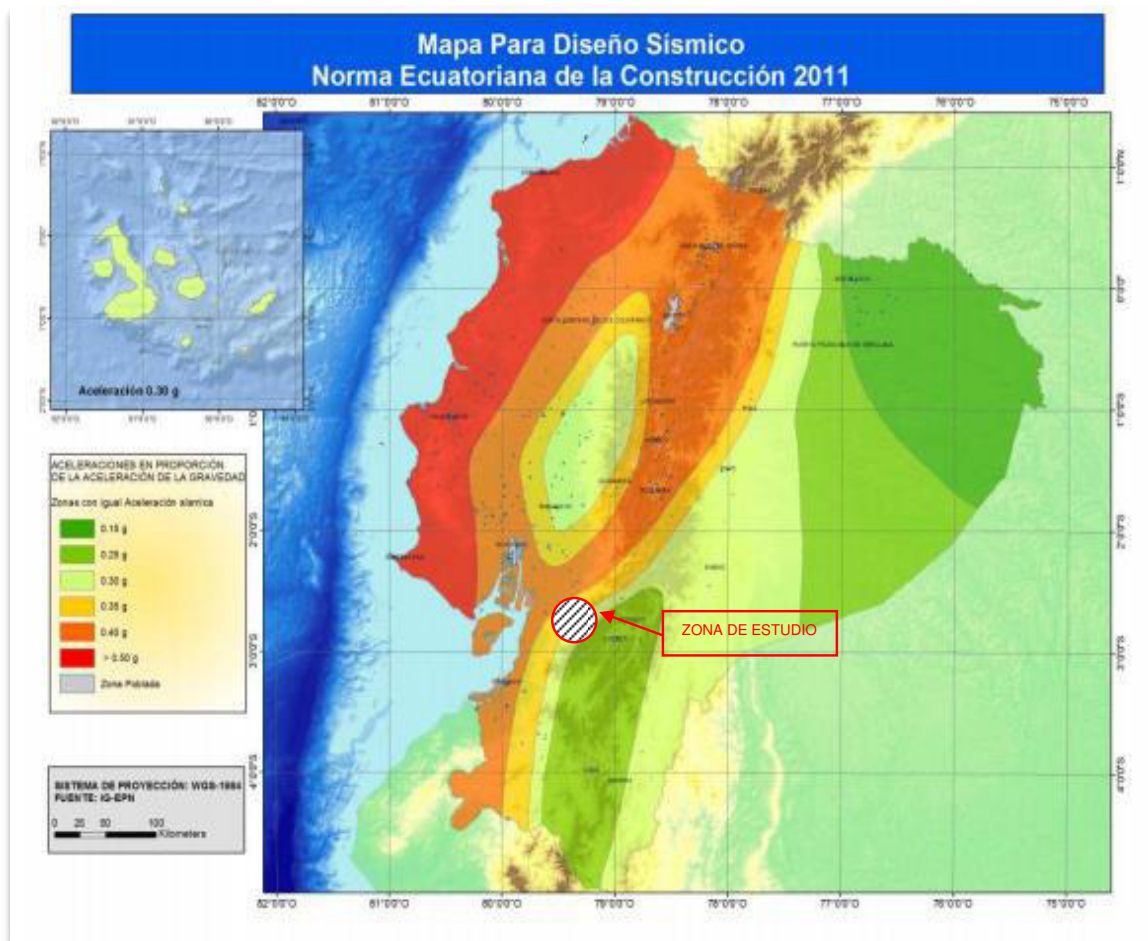


Figura IX. Mapa de peligro sísmico del Ecuador en aceleraciones g.

Para los análisis de estabilidad por métodos pseudoestáticos para muros y taludes se recomienda emplear un coeficiente sísmico igual a 0.60 de la aceleración máxima del terreno (NEC actual). De este modo, el valor del coeficiente sísmico horizontal recomendado para el área de estudio será de 0.21 g; y, el vertical se consideró de 0.11 g.



CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL MOVIMIENTO

3.1. Introducción al movimiento

Todos los suelos que presentan pendientes tienen una tendencia al movimiento, en diferentes grados de velocidad y con magnitudes también variables; los diferentes procesos geodinámicos que intervienen en la superficie terrestre dan vida a estos movimientos, los más comunes son los de laderas y taludes.

La diferencia entre una y otra superficie terrestre, radica en que la segunda es fruto de la acción antrópica; en la zona en estudio, una vez que se ha realizado la construcción de la planta de tratamiento se considera como talud.

Dentro del medio geológico, factores como la gravedad, la meteorización que provoca el debilitamiento de los materiales con el paso del tiempo, y varios fenómenos ambientales y naturales han logrado que estos procesos sean riesgos geológicos en potencia que han cobrado vidas humanas e incuantificables costos económicos. (Quezada, B. 2016).

En la zona de Coyoctor, uno de los principales problemas de acuerdo a la geología de la zona ya estudiada es la capacidad portante de los suelos; esto, ya que presentan características de materiales con propiedades deficientes para soportar cargas, a más de este parámetro condicionante, la permeabilidad que presentan los materiales permita la saturación de los mismos perjudicando su estabilidad.

3.2. Movimiento de masas

El hablar de movimiento de masas contempla grandes extensiones de terreno conformadas por suelo y roca, las mismas que, por diferentes factores han perdido su estabilidad y consecuencia de ello generan diferentes tipos de problemas tanto a zonas construidas como a zonas deshabitadas. En el presente caso el movimiento de terreno en la zona de estudio está afectando de una manera directa a las obras civiles construidas en la zona.

La morfología y el relieve de las laderas y taludes dependen directamente del clima y los procesos geológicos, por lo general estas adoptan pendientes naturales cercanas a un punto de equilibrio, cuando ocurre un cambio en las condiciones en las que se logra esta estabilidad, adquieren una nueva morfología hasta volver nuevamente a un punto equilibrante.

Zonas como las montañosas y escarpadas, con procesos erosivos y de meteorización intensos, zona con macizos rocosos arcillosos, con materiales blandos y sueltos, con materiales que presenten esquistosidad, con alto riesgo sísmico, con altos valores de pluviosidad, laderas de valles fluviales entre otras, son las más propensas a la inestabilidad. (Suárez, 1998).



Deslizamiento es el término que comúnmente se utiliza para identificar a los movimientos en laderas y taludes; estos, se deben al desequilibrio entre las fuerzas internas y externas que se producen en el terreno; es decir que las fuerzas desestabilizadoras superan a las estabilizadoras o resistentes. Esto puede ser causado por un aumento de las fuerzas estáticas o dinámicas en la zona, o por las características de los materiales componentes de la masa. (Suárez, 1998).

3.3. Tipos de movimientos

El tipo de material involucrado, los mecanismos y tipos de rotura, la presencia de agua en el terreno, la velocidad, la magnitud del movimiento, son factores que dan la clasificación a los diferentes movimientos de terreno. La clasificación que sigue está basada en función de los mecanismos de rotura y el tipo de material del que está constituida la masa deslizada. (González, 2002).

Los movimientos pueden presentarse tanto en medios geológicos rocosos así como en medios compuestos por material sin compactar o suelos.

3.3.1. Movimientos en materiales sueltos

Los principales movimientos en materiales sueltos se detallan a continuación.

3.3.1.1. Deslizamientos

Estos son movimientos que generan desplazamiento de corte, se puede dar a lo largo de una o varias superficies de rotura neta. Este movimiento puede ser progresivo, en el cual se desplazan masas de suelo o de roca sobre un sustrato, la masa se desplaza en conjunto comportándose como una unidad en su desplazamiento. (Quezada, B. 2016).

La velocidad con la cual se produce este movimiento es variada pero pueden ser procesos rápidos en los cuales la masa puede alcanzar varios millones de metros cúbicos. La figura X muestra un esquema de los que es un deslizamiento y su afección a suelos con características blandas.

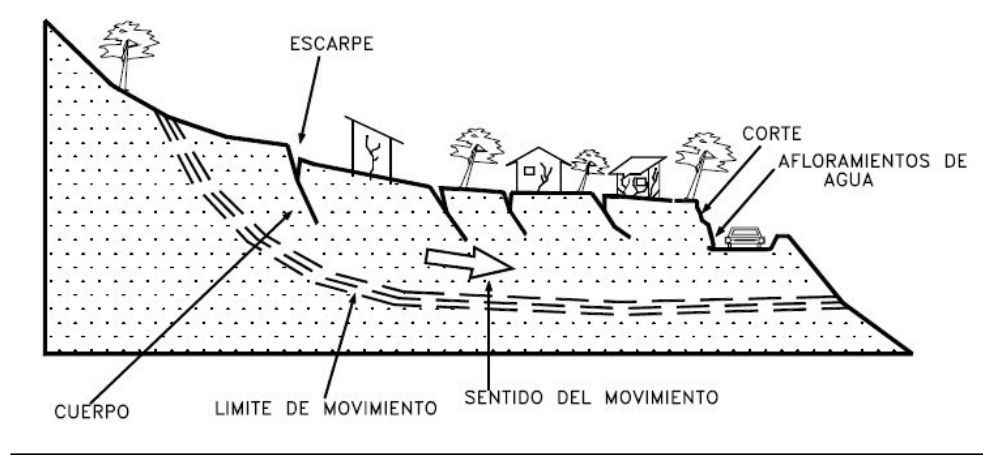


Figura X. Deslizamiento en suelos blandos

Imagen tomada y adaptada al presente trabajo del libro: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.

A su vez, los deslizamientos se pueden clasificar en dos grupos, cada uno de ellos tiene su forma de análisis y estabilización:

a. Deslizamiento Rotacional

Este tipo de deslizamiento se observa más frecuentemente en suelos cohesivos homogéneos, la rotura superficial o profunda se da en forma de cuchara. Cuando ha comenzado el movimiento del material la masa deslizada empieza a rotar, lo que puede provocar que se divida en varios bloques que se deslizan entre sí tomando la forma de escalones, como muestra la figura XI.

En este tipo de deslizamiento se puede observar agrietamientos que se presentan en la dirección del movimiento. La parte inferior de la masa deslizada se acumula en el pie de la ladera tomando una forma de ondas con grietas de tracción transversales. (Quezada, B. 2016).

En la zona estudiada por las características del movimiento es presumible este tipo de deslizamientos, como mecanismo de clasificación se puede observar la orientación de árboles y agrietamiento de la masa deslizando.

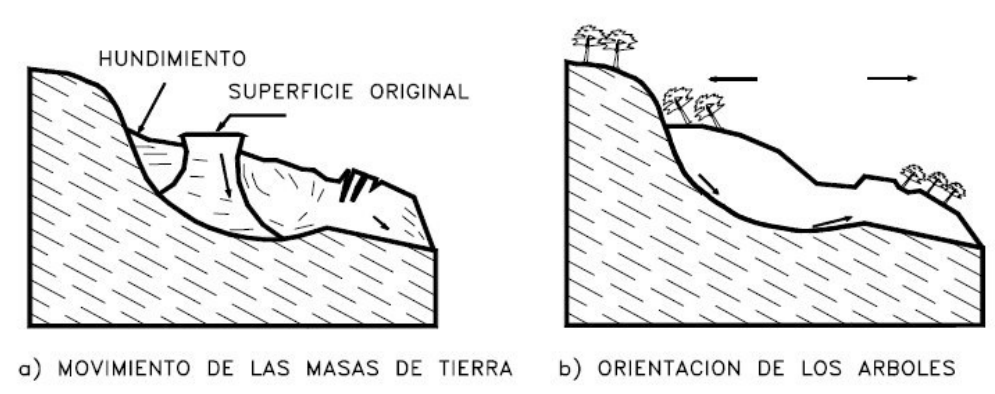


Figura XI. Esquema de un deslizamiento rotacional típico

Imagen tomada y modificada al presente trabajo del libro: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998).

b. Deslizamientos Traslacionales

En este tipo de deslizamiento la rotura se da en superficies de debilidad existentes en la ladera (estructuras geológicas, superficies de estratificación, contactos, juntas fallas, etc.). Estos deslizamientos son más rápidos que los rotacionales, pueden ser extensos, poco profundos, se presentan en suelos y rocas, las masas deslizadas en muchas ocasiones toman la forma de bloques rectangulares que están separados unos de otros por discontinuidades o por grietas de tracción. En este tipo de movimiento la masa deslizada tiene un desplazamiento hacia abajo y no se produce volteo como en el caso anterior. La imagen de este tipo de movimiento se observa en la figura XII. (Quezada, B. 2016).

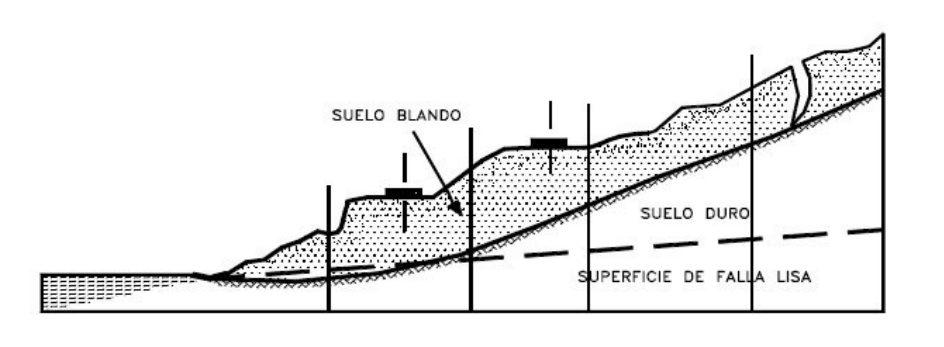


Figura XII. Esquema de un deslizamiento traslacional

Imagen tomada y adaptada al presente trabajo del libro Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.



Como un mecanismo de identificar la cinemática de los deslizamientos varios autores clasifican a estos según otras variables como la actividad, profundidad, génesis entre otros.

A continuación se presentan cuadros con la clasificación de los deslizamientos según variables diferentes. La tabla II indica la clasificación a otorgarle a un movimiento ya sea rotacional o traslacional según su profundidad. El cuadro III clasifica al movimiento en función de su velocidad.

Tipo de Deslizamiento	Profundidad de superficie de deslizamiento (m)
Superficial	0 – 1.5
Somero	1.5 – 5
Profundo	5 – 20
Muy profundo	> 20

Tabla II. Clasificación del deslizamiento en función de su profundidad

Tipo de Deslizamiento	Velocidad (cm/a)
Semi-estable, muy lento	0 - 2
Poco activo, lento	2 - 10
Activo o lento con fases rápidas	> 10

Tabla III. Clasificación del deslizamiento en función de la velocidad de movimiento

Cabe recalcar que, para poder clasificar al movimiento en función de la velocidad del mismo, es necesario contar con información de hitos topográficos e inclinómetros que van a ayudar a medir los desplazamientos tanto horizontales como verticales en lapsos de tiempo determinados permitiendo conocer su velocidad.

En la zona en estudio no se cuenta con equipos que favorezcan a conocer cuánto es el desplazamiento en un periodo determinado, por lo cual, la última tabla será considerada como informativa y en función de los criterios receptados por gente del sector, así como del personal que opera en la planta se clasificará al movimiento como poco activo o lento.

3.3.1.2. Flujos

También conocidos como coladas, son movimientos de masas que pueden contener barro, flujos de residuos, de bloques rocosos; y, que tienen una abundante presencia de agua. Este movimiento presenta al material de forma disgregada y se comportan como un fluido, no presentan superficies de rotura definida.

Se observa principalmente en suelos arcillosos que al ser movilizados pierden resistencia. Se pueden presentar en pendientes bajas, su presencia se relaciona con la saturación de los materiales sub superficiales. Su velocidad es variable dependiendo del tipo de flujo, la figura XIII muestra un esquema de este tipo de movimiento.

Los flujos de barro se dan en sitios donde los materiales que constituyen el suelo son muy finos y homogéneos, de igual manera la humedad del lugar es alta. Su velocidad de movimiento puede alcanzar varios metros por segundo.

Los flujos correspondientes a bloques rocosos se observan principalmente en depósitos de morrenas glaciares donde el material presente es suelto y en lugares donde la cobertura vegetal es nula. Suelen ocurrir en laderas con pendientes altas y en las cuales existe presencia de rocas ígneas o metamórficas. La velocidad de su movimiento es alta.

Los flujos de residuos ocurren cuando los bloques rocosos se han triturado, estos toman fuerza por acción de la lluvia, ya que esta debilita su resistencia. (Quezada, B. 2016).

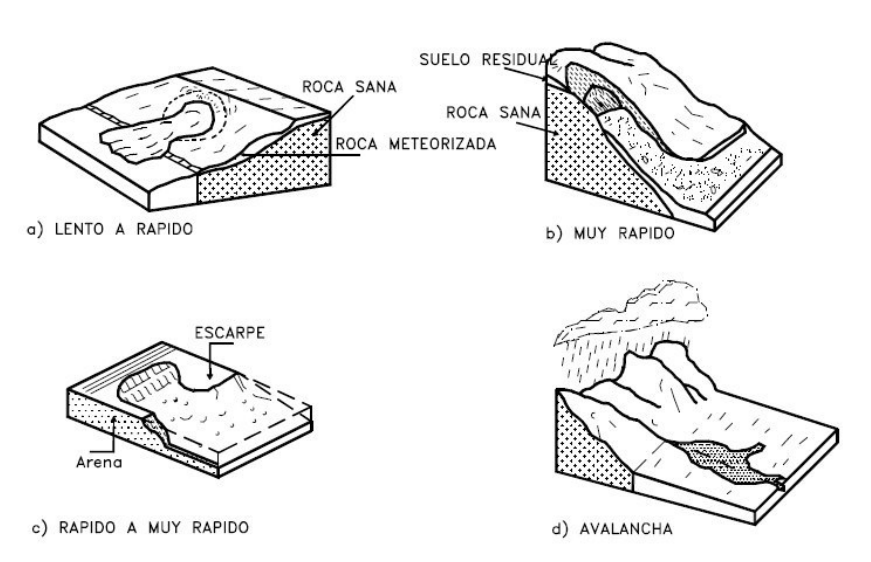


Figura XIII. Movimiento en flujo dependiente de su velocidad

Imagen tomada y adaptada del libro Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.

3.3.1.3. Reptación

Este movimiento se caracteriza por ser lento, no tienen una superficie de falla definida y envuelve a grandes áreas de terreno. Los suelos que presentan este movimiento suelen ser blando o alterados, y las causas que provocan este fenómeno es el humedecimiento y secado del suelo. En la zona del Cañar al igual que en gran parte del Austro se observa este tipo de movimiento. La fotografía muestra el fenómeno de reptación que se da en la zona de estudio.



Fotografía III. Reptación presentada en la zona

3.3.1.4. Desplazamiento lateral

Cuando existe un desplazamiento de bloques rocosos o materiales muy coherentes sobre una superficie compuesta por un material deformable y blando se le conoce como desplazamiento lateral. El material deformable pierde resistencia ante el peso de los bloques o materiales duros, lo que provoca este movimiento. Se puede observar en las zonas donde se dan estos desplazamientos, grietas en las capas superiores, vuelcos, desplazamientos diferenciales, entre otros.

La figura muestra un esquema de un desplazamiento lateral, en donde se observa también el plano de falla o deslizamiento del material.

Este tipo de movimiento puede asemejarse a un deslizamiento traslacional, pero lo que lo identifica es la forma de desplazarse de manera lateral.

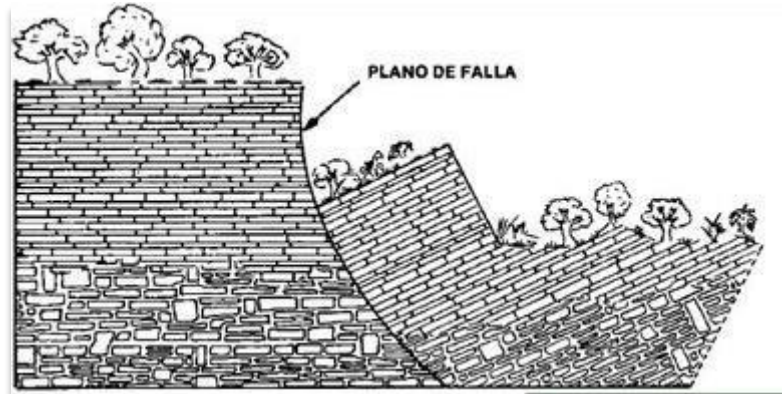


Figura XIV. Esquema de un desplazamiento lateral

3.3.2. Movimiento en masas rocosas

Los diferentes tipos de movimientos en rocas se observan a continuación:

3.3.2.1. Desprendimientos

Este tipo de movimiento se localiza en zonas de montañas escarpadas, en paredes rocosas, en donde su geología estructural está marcada por discontinuidades, grietas de tracción, planos de estratificación.

Los desprendimientos son caídas libres con velocidades altas de masas o bloques de rocas. Esto ocurre por factores como la erosión, pérdida de apoyo de bloques sueltos previamente, por acción del agua o movimientos sísmicos. (Quezada, B. 2016).

3.3.2.2. Avalanchas Rocosas

En este movimiento, a más de contener grandes masas rocosas que se desprenden, éstas vienen acompañadas de hielo, nieve o suelos, provocando ríos de rocas con diferentes tipos de materiales que encuentren a su paso. Estos son causados por un aumento de agua en zonas montañosas donde no existe vegetación, por acción de sismos y por erupciones volcánicas. Los desprendimientos de los materiales que forman las avalanchas se dan en zonas de montaña altas, con pendientes muy fuertes, por lo cual la velocidad que toma este movimiento es muy alta, pueden llegar a superar los 100 km/hora, causando gran destrucción a su paso. La figura XV es un bosquejo de este tipo de movimiento.

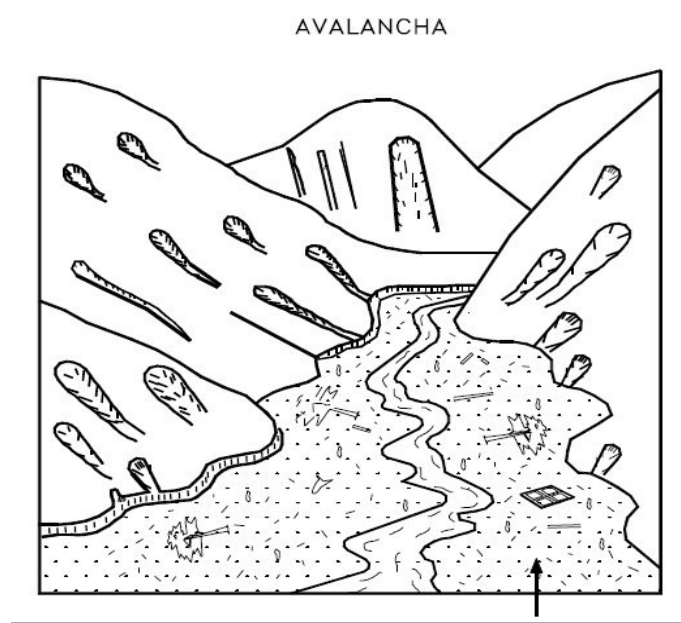


Figura XV. Esquema de un movimiento avalancha rocosa

Imagen tomada y adaptada del libro Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.

3.3.2.3. Volcamiento

Ocurren mayormente en rocas cuyas discontinuidades tienen ángulos de buzamiento altos en sentido contrario al frente del talud. El movimiento comprende el volcamiento (Toppling) de bloques de roca que tratan de doblarse y caer por su propio peso (Salcedo D., 1978). La figura XVI muestra un esquema de volcamiento en bloque.

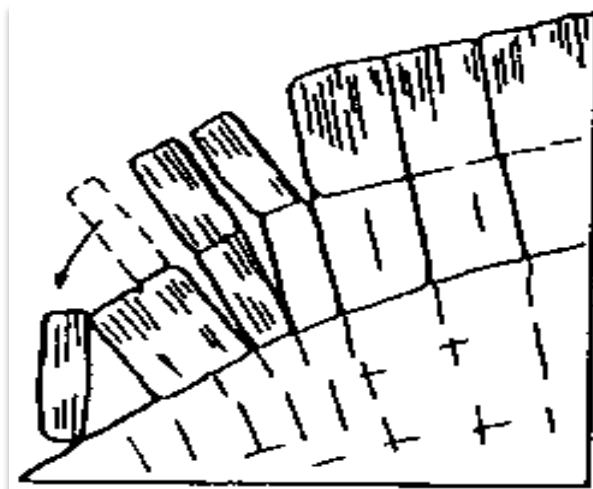


Figura XVI. Esquema de un volcamiento en bloque

3.3.2.4. Deslizamiento en Cuña

Se refiere al caso de un deslizamiento según planos de debilidad, definiendo un bloque de roca cuyo movimiento está controlado por la dirección de la recta de intersección de los dos planos (Salcedo D., 1978). La figura XVII muestra este tipo de movimiento.

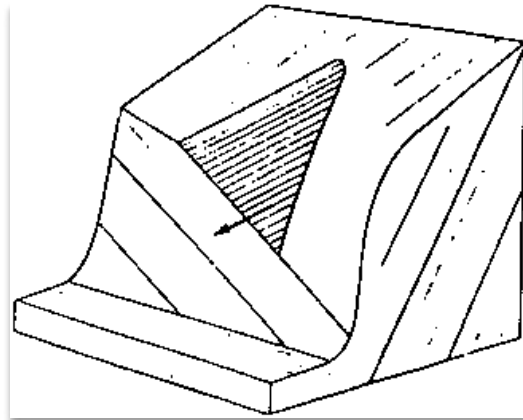


Figura XVII. Esquema de un deslizamiento en cuña

3.3.2.5. Deslizamiento Planar

Ocurre por gravedad cuando un bloque de roca descansa sobre una discontinuidad; el plano de esta discontinuidad debe presentar una pendiente menor que el talud natural. Para que ocurra el movimiento es necesario que la inclinación del plano de deslizamiento sea mayor que el ángulo de fricción en ese plano y el plano sobre el cual ocurre el movimiento, debe tener un rumbo aproximadamente paralelo al plano del talud ($\pm 15^\circ$), (Salcedo D., 1978), esto se observa en la figura XVIII.

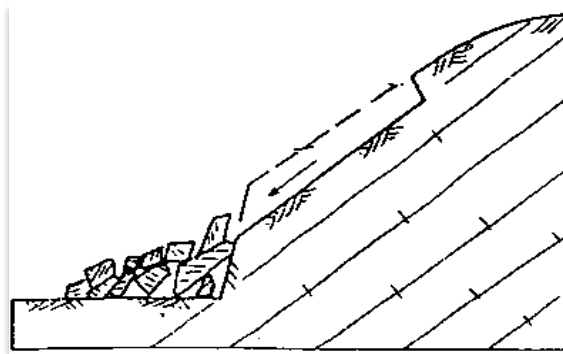


Figura XVIII. Esquema de un deslizamiento planar

3.3.2.6. Caída de rocas

El desmoronamiento o declive es destacado desde el punto de vista de la ingeniería, ya que el desprendimiento de uno o varios bloques pueden ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte baja y se podría originar una devastación masiva.

La figura XIX muestra un bosquejo de este movimiento. Los desprendimientos se originan usualmente en taludes verticales o casi verticales, en suelos endebles a moderadamente firmes y en macizos rocosos altamente fracturados. Generalmente antes de la falla acontece un desplazamiento, el cual puede ser reconocido por la existencia de grietas de tensión, (Salcedo D., 1978).

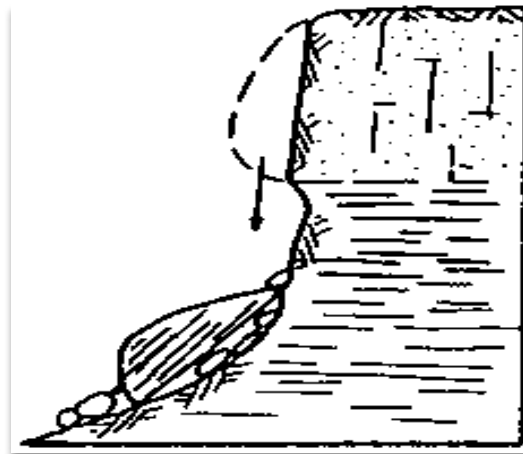


Figura XIX. Bosquejo del movimiento caída de rocas

Cabe recalcar que en la zona denominada “**Planta de tratamiento de aguas residuales de la zona Este del Cantón Tambo**”, que, si bien es cierto en los alrededores se observa formaciones rocosas, no existe en el sitio mismo material rocoso presentándose de forma completa material suelto granular, por lo cual el tipo de movimiento presente en la zona se determinará como un movimiento en masa de suelo. Por lo cual en el estudio de estructuras no se puede realizar y por ende caracterizar.

3.4. Análisis del suelo encontrado en la zona en estudio

El análisis del suelo de un sitio se basa en los estudios geotécnicos de campo y laboratorio que son imprescindibles en las diferentes obras de ingeniería, sin los mismos, no sería factible poder determinar las características físico – mecánicas de los suelos que conforman un talud.



3.4.1. Evaluación Geotécnica del sitio

La investigación geotécnica de un terreno tiene como objetivo el verificar la constitución y características principales del subsuelo para la evaluación de la estabilidad del talud, así como para el análisis de capacidad admisible del terreno; adicional esta información sería útil en el caso de que en la zona se requiera realizar una cimentación, con lo cual se puede conocer la profundidad de cimentación, asentamiento permisible, tratamiento de la cimentación de las obras de estabilización a diseñar.

En la zona estudiada el motivo principal es dar una solución al movimiento en función de los parámetros y agentes condicionantes del movimiento. Al existir ya una construcción de índole civil en el sitio, se pretende el salvar dicha obra, por lo cual la capacidad de carga portante del sitio queda en segundo plano, sin que eso significa el no realizarlo en el presente trabajo.

3.4.1.1. Metodología aplicada para la caracterización geotécnica

Para la caracterización geotécnica del suelo se siguieron los siguientes procesos:

- a. Recopilación de ensayos previos a la construcción de la planta de tratamiento.
- b. Investigación geotécnica de campo (perforación por percusión SPT, una sola perforación).
- c. Elaboración de perfil estratigráfico.
- d. Fijación de los parámetros de resistencia.
- e. Comparación de los parámetros calculados con los factores recopilados.
- f. Análisis de los factores condicionantes en el talud.

3.4.1.2. Recopilación de información pre existente

En el año 2013, en el mes de febrero, la empresa pública EMAPAT E.P. solicitó el estudio de Mecánica de Suelos del sitio donde se emplazó la planta de tratamiento.

El mismo tuvo su base en la extracción de muestras “alteradas” del suelo que se presentaba en la ladera; dicha extracción tuvo una profundidad de 5 m y se la realizó por medio del ensayo de veleta y el penetrómetro de bolsillo.

De este análisis se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla IV. Cabe recalcar que la capacidad portante del suelo fue calculada en base a los parámetros encontrados en las pruebas de laboratorio.



CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS ENCONTRADOS DE LA ZONA	
Profundidad de la perforación:	5 metros
Número de estratos encontrados:	1 estrato
Presencia de nivel freático:	Sin presencia
Clasificación del Suelo:	SUCS: SM Arenas Limosas
	AASHTO: A – 2 – 7; IG = 0
Peso específico del suelo:	1650 kg / m ³
Cohesión del material:	0.60 Kg / cm ²
Angulo de fricción del material:	5 °
Capacidad admisible calculada:	2.00 Kg / cm ²

Tabla IV. Parámetros encontrados en la zona de estudio en el año 2013

3.4.1.3. Investigación geotécnica de campo

Los objetivos de la exploración mediante perforación por percusión son:

- La determinación del perfil lito estratigráfico, con el objetivo de conocer la textura y estructura del suelo hasta llegar a la roca o rechazo a la penetración.
- Determinar las propiedades geomecánicas del suelo de fundación.
- Caracterización del suelo o clasificación del mismo, contemplando el sistema SUCS apto para cimentaciones.
- Conocer los parámetros geomecánicos del suelo con el fin de utilizarlos en la modelación de los perfiles seleccionados.

En un proyecto de obra ingenieril, más aún en proyectos de magna importancia se deben realizar diferentes ensayos de perforación y ser complementados con ensayos geofísicos cuya correlación entrega datos reales del campo.

En el presente trabajo por el costo que representa las perforaciones se realizó un solo ensayo; del mismo, en el laboratorio se obtuvieron parámetros necesarios para la modelación y a su vez comparación con datos anteriores.

Se deja abierta la posibilidad futura de realizar ensayos geofísicos que serían complementarios a los geotécnicos, que a más de complementar la información permitirán conocer a mayor profundidad los componentes del suelo

3.4.1.4. Sondeo realizado

El sondeo realizado no se lo pudo ejecutar en la zona estudiada ya que no se logró la autorización para generar el ensayo, en su defecto se lo ejecuto en una zona cercana,



aproximadamente a 20 metros del lugar en estudio y que presenta características geológicas y geomorfológicas similares al lugar del movimiento.

En la fotografía IV se observa el equipo utilizado para la perforación y recuperación de las muestras que conforman el sub suelo. En la fotografía V se observa una de las muestras recuperadas del ensayo SPT.



Fotografía IV. Ensayo SPT ejecutado en la zona de estudio



Fotografía V. Muestra obtenida de la perforación realizada



3.4.1.5. Ensayos realizados en el laboratorio en función de las normas

Una vez recuperada la muestra, se llevó la misma al laboratorio con el fin de obtener los diferentes parámetros, para esto se siguió la siguiente normativa:

- Granulometría: ASTM D422-63 y lavado en muestras que pasan por el tamiz #200.
- Contenido de Humedad Natural:(ASTM D2216).
- Plasticidad: La cual se obtiene a través de las pruebas llamadas de “Límites de Atterberg”, siendo estas las del límite líquido (ASTM 423-66) y límite plástico (ASTM 424-59).
- Ensayos SPT: (ASTM D-1586).
- Ensayos de corte directo:(ASTM D 3080-72).
- Clasificación de los suelos por SUCS y ASSHTO.

3.4.1.6. Parámetros encontrados en la zona

Se realizaron los diferentes ensayos descritos en el literal anterior, en función de los mismos se encontraron los parámetros que se exponen en la tabla.

No se pudo apreciar de forma directa nivel freático en la exploración realizada, pero se observó que el material presentaba un grado de saturación alto en la parte inferior del estrato identificado.

CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS ENCONTRADOS DE LA ZONA	
Profundidad de la perforación:	7 metros
Número de estratos encontrados:	1 estrato
Presencia de nivel freático:	Sin presencia muestra saturada
Clasificación del Suelo:	SUCS: SC Arenas Arcillosas
	AASHTO: A – 2 – 7; IG = 3
Terreno de fundación:	Regular
Peso específico del suelo:	1629 kg / m ³
Cohesión del material:	0.49 Kg / cm ²
Angulo de fricción del material:	7°
Capacidad admisible calculada:	1.92 Kg / cm ²

Tabla V. Parámetros encontrados en la actualidad de la zona en estudio



3.4.1.7. Comparación de resultados

Del análisis comparativo de los resultados obtenidos se puede concluir que los suelos son similares, que la capacidad portante del suelo en los ensayos realizados en el año 2013 es ligeramente diferente a causa del tipo de ensayo realizado para la extracción de la muestra.

Los suelos encontrados obedecen a la formación geológica predominante en la zona la formación Turi, con presencia de conglomerados gruesos a finos, areniscas conglomeráticas, areniscas normales y arcillosas y estratos de lutitas amarillentas. Principalmente suelos con comportamiento cohesivo y despreciable ángulo de fricción.

La diferencia que se puede resaltar de los *Tabla VI. Factores utilizados en la modelación de los taludes* ensayos realizados al igual que del levantamiento de la muestra en el campo, es el alto grado de saturación presente en el material, que si bien es cierto puede ser propio de la formación por la permeabilidad que presenta el material, puede obedecer también a la filtración de agua fruto del canal de riego que se encuentra en la parte alta del talud analizado.

3.4.1.8. Parámetros condicionantes en el talud

Al tener un suelo cohesivo el parámetro condicionante para la estabilidad del talud va a ser el grado de cohesión que presente el material; si, en épocas de invierno el agua infiltra al terreno, generará una disminución de este parámetro y consecuencia de esto podría generar un deslizamiento de masas.

En la modelación, este factor al igual que el peso específico del material jugará un factor importante al momento de modelizar al movimiento, la presencia de agua o el ascenso del nivel freático a más de las características propias de la formación geológica dominaran la estabilidad del talud.

En la tabla se observa los parámetros con los cuales se va a modelar los perfiles adoptados en la modelación del talud.

Horizonte	PROFUNDIDAD DEL ESTRATO (m)	ϕ°	C (kN/m ²)	g húmedo (kN/m ³)
A	DE 0 A 10 m	7	48,05	16,29



3.5. Hidrogeología de la zona

El agua subterránea que satura el subsuelo de Cañar proviene de las infiltraciones del agua lluvia a través de la capa superficial del material conglomeráticos con presencia de areniscas, de la acumulación en los sitios sin drenaje y de las aguas freáticas que fluyen hacia el valle desde las alturas que rodean al poblado en general.

El agua aflora en los puntos donde los deslizamientos han dejado al descubierto el substrato sobre el cual se desliza el suelo, formando en esos puntos zonas pantanosas y zonas húmedas. Es poco probable la presencia de acuíferos de importancia en la zona, ya que la inestabilidad está relacionada con la saturación de materiales arcillosos. (Erazo V., 2007).

3.6. Clasificación del movimiento

Este movimiento no forma parte de deslizamientos mayores suscitados en la zona; se puede manifestar que exceptuando afloramientos de rocas fundamentales, la zona estudiada adolece de inestabilidad efectiva o potencial generalizada, existiendo zonas donde el movimiento se lo puede catalogar como nulo.

La inestabilidad del suelo está ligada principalmente a la actividad de las grietas principales y secundarias, a la presencia de agua proveniente de quebradas, lluvia o filtraciones de canales existentes que contribuyen a la inestabilidad de sus taludes.

Actualmente este deslizamiento se lo clasifica en el presente trabajo en función de la tabla III como poco activo o lento, esta clasificación en función de lo que se observa en la zona y consultas a moradores del lugar, mostrando su movimiento desde algunos meses atrás presumiblemente por acción de los intensos periodos lluviosos que afectan a la zona y por las características de los materiales involucrados en el mismo. La superficie de rotura se presume es del tipo somera sin sobrepasar los 10 metros de profundidad.

En función de los diferentes tipos de movimientos analizados en el presente trabajo, existen varios tipos de movimientos, en base a las características, topográficas, geológicas, morfológicas, hidrológicas, estratigráficas, entre otras con lo que se puede definir el tipo de movimiento que se tiene en una zona estudiada; es por eso que posterior a la información descrita en los numerales anteriores, se va a clasificar al deslizamiento en base a lo citado anteriormente.

Dentro de las características que se observan de este movimiento tenemos:

- a. El movimiento se da en un suelo.
- b. El colapso toma la forma de cuchara.
- c. La masa que se desliza se está acumulando al final del talud.
- d. El suelo de los ensayos de laboratorio es un suelo cohesivo mayoritariamente.



- e. Presentan agrietamientos en varias partes del talud.
- f. Se evidencia rotación.
- g. Existe una saturación del terreno.
- h. En épocas de intensa lluvia se observa una aceleración del movimiento.
- i. La longitud de movimiento no es extensa.
- j. El material presente es permeable.

Analizando todas las características de este movimiento en masa y basándonos en lo ya expuesto, este movimiento se lo clasifica principalmente como un deslizamiento del tipo rotacional, la modelación se efectuará en función de esta clasificación.

3.7. Perfiles asumidos para la modelación

La zona en estudio presenta como obra civil vulnerable al movimiento una Planta de Tratamiento de Agua; esta construcción presenta actualmente un alto riesgo de colapsar a causa del movimiento del talud, la obra civil amparó una construcción extensa, motivo por el cual se decidió realizar el análisis de tres perfiles situados sobre el talud y que guardan influencia directa en la planta.

En la fotografía VI se observa los perfiles que se generaran y modelaran en el software especializado, dichos cortes están localizados uno a cada lado de la obra construida y uno sobre la estructura civil, y se denominaron de izquierda a derecha como Perfil A, Perfil B y Perfil C.

El Perfil B guarda la particularidad que la modelación se va a realizar desde la cabecera del talud hasta la zona alta de la construcción; de los otros dos perfiles se modelaran a lo largo de la superficie del talud solo el C – C por guardar simetría con el A – A.

La figura XX se observa los perfiles adoptados en función de la altura y la abscisa de ubicación.



Fotografía VI. Vista de la planta de tratamiento en la zona de estudio y los perfiles asumidos para la modelación del talud

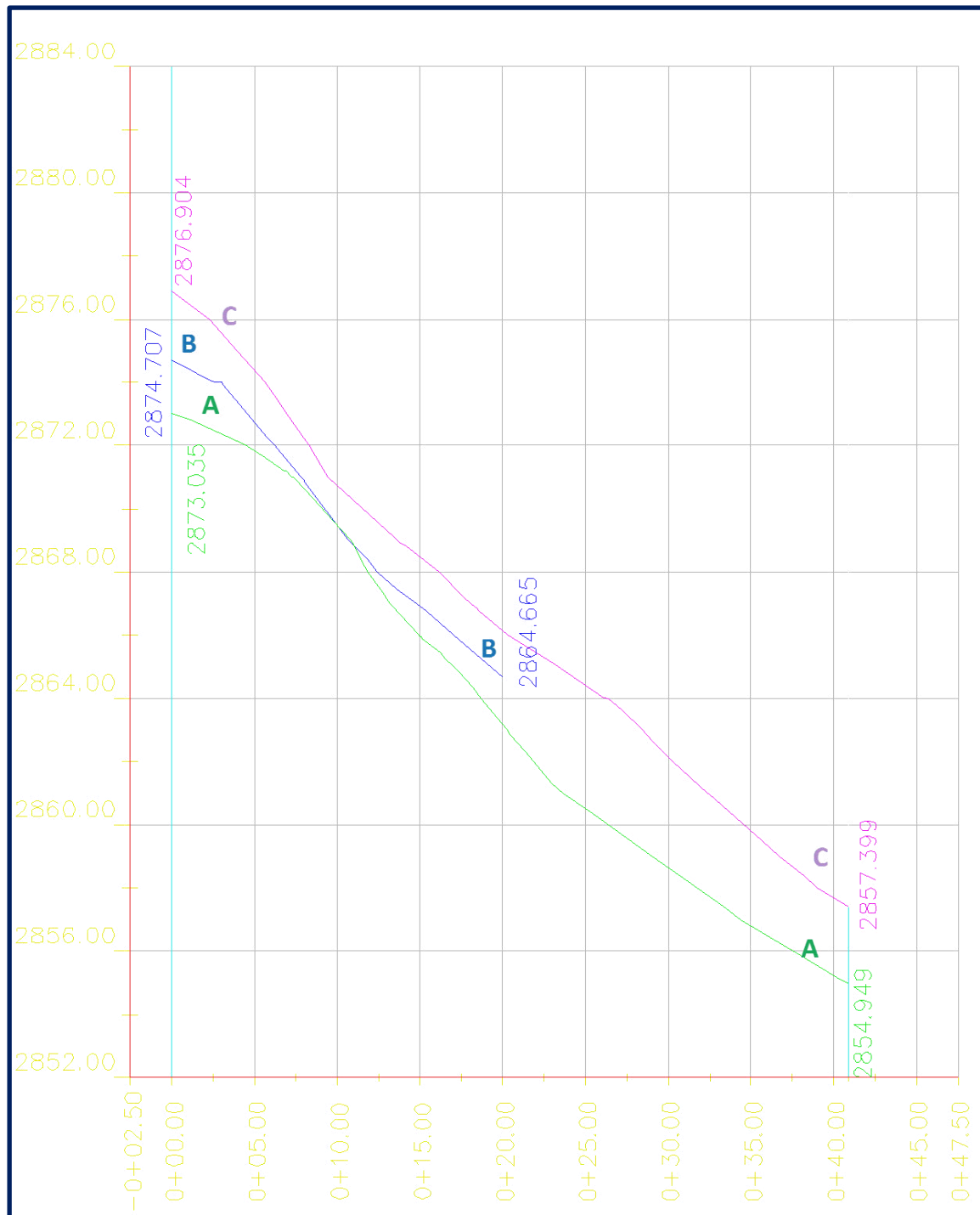


Figura XX. Perfiles asumidos para la modelación cotas y abscisas



CAPÍTULO IV.- MODELIZACIÓN DEL TALUD

4.1. Análisis de la estabilidad de talud con Plano de Falla Circular

Para el análisis de la estabilidad del talud generado, se utilizó el software SLIDE 5.0, es un programa especializado que usa la teoría del equilibrio límite para encontrar el factor de seguridad de los taludes. El software pertenece al programa global Rocscience utilizable en todas las ramas de la ingeniería.

El análisis se lo realizó sobre los perfiles topográficos en función de las curvas de nivel. A más de la geometría, tres parámetros son los que mayor influencia en el análisis: los valores de geotécnicos del suelo, las condiciones de agua subterránea y el coeficiente de aceleración sísmica para el análisis pseudoestático.

La resistencia al corte, se lo ha determinado mediante correlaciones de los valores de SPT y de la inspección bibliográfica para el tipo de suelo presente en la zona de estudio se asumieron factores para la modelación que se describieron al final del capítulo III.

En cuanto al coeficiente de aceleración sísmica, ésta no debe considerarse igual a la aceleración máxima del terreno (peak ground acceleration PGA), ya sea probabilística o determinísticamente, y por tanto no se debe usar en el análisis pseudoestático, el uso del PGA resultaría en factores de seguridad excesivamente conservadores (Seed, 1979; Chwdhury. 1978).

Seed recomienda coeficientes de aceleración de K_h 0,15 y 0,20 para sismos de magnitud 6.5 y 8.25 respectivamente. Para el presente caso se ha considerado el primer valor es decir $K_h = 0.21$ (En función de la sismicidad de la zona y la NEC vigente) para el sentido horizontal y $K_v = 0.11$ para el vertical. (Quezada, B. 2016).

4.2. Análisis por el Método de Equilibrio límite

Los movimientos de taludes han sido analizados durante muchos años utilizando las técnicas del equilibrio límite, para el cual se requiere información sobre la resistencia del suelo, siendo innecesario datos sobre la relación esfuerzo y deformación que soporta un material determinado.

El método de equilibrio límite asume que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y las resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor $FS = 1.00$, es decir en equilibrio. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en dovelas (tajadas). Con este método se asume que el factor de seguridad es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla. (Quezada, B. 2016).

Diversos autores han propuestos varios métodos de equilibrio límite, la diferencia entre uno y otro radica en equilibrio que se tenga en el talud, ya sea equilibrio de fuerzas, equilibrio de momento o la combinación de los dos, así como en el tipo de superficie de falla presente.



Las características del deslizamiento presente, es decir el tipo de deslizamiento, su forma, su profundidad inciden de manera directa al momento de elegir un método de estabilización.

4.2.1. Métodos de Bishop y Janbu

En función de la versatilidad que presenta el software para la elección del método a seguir para una falla rotacional, considerando los diferentes parámetros y características presentes en el movimiento así como en el suelo, los métodos seleccionados y a la vez comparativos de resultados para la modelación son de Bishop y Janbu.

Cada método presenta un grado de seguridad en particular, razón por la cual los valores calculados del factor de seguridad (FS) con cada método presentan diferencia en sus valores. Los dos métodos basan su modelación en cortes realizados en una franja del talud, su análisis se fundamenta en el equilibrio límite. Su objetivo es el equilibrio de fuerzas y momentos actuando en bloques individuales. Los bloques son creados dividiendo el suelo sobre la superficie en planos. Estos métodos son aplicables a cualquier tipo de falla, planar o circular, adicional su resolución es netamente computacional. En la zona de estudio, por la longitud del posible deslizamiento a más de las características ya mencionadas se modela con un movimiento circular.

4.3. Software utilizado

En el mercado se encuentran diferentes softwares para modelización de taludes y laderas, tanto para roca como para suelos; Slide (Rocscience), es un software utilizado para el análisis de estabilidad de taludes, pudiendo evaluar en taludes de suelo y roca, fallas circulares y no circulares. La geometría del talud es graficable por medio de coordenadas o se puede importar archivos CAD digitalizando la misma, de igual manera se puede incluir en la modelización cada una de las características de los estratos o estrato que conforman el talud (Quezada, B. 2016).

Este programa tiene la versatilidad de analizar la estabilidad utilizando métodos de equilibrio límite con rodajas verticales, revisando superficies individuales o buscando y examinando la superficie crítica para un talud dado. La versión utilizada en la modelación es la 5.0. Este software tiene las siguientes características:

- a. Aplica métodos de búsqueda de la superficie crítica para superficies de deslizamiento circular o no circular.
- b. Aplica métodos de equilibrio como: Spencer, GLE/Morgenstern-Price, Janbu, Bishop, entre otros.
- c. El análisis lo realiza con múltiples materiales, anisotrópicos, materiales no lineales, Mohr – Coulomb y otros.
- d. Considera el agua subterránea, el factor de presión de poros R_u , red de presiones de poros y la infiltración que se tenga en una zona.



- e. Se puede modelar con cargas externas lineales, sísmicas o distribuidas.
- f. Analiza las fuerzas de apoyo requeridas para casos específicos.
- g. Vistas de todas y cada una de las superficies generadas.
- h. Considera el ingreso de planos de falla conocidos.
- i. Permite conocer el FS a lo largo de la superficie del talud seleccionado para la modelación.
- j. Es compatible con software que tienen sus bases en los elementos finitos.

4.4. Recomendaciones del FS en zonas vulnerables

El factor de seguridad recomendado está en función del nivel de riesgo que representa un deslizamiento en una zona puntual, tanto a seres vivos como a edificaciones.

En el presente caso, a más del riesgo que genera el movimiento de la masa a las vidas humanas, existe un alto riesgo de fracaso de las obras civiles hidráulicas construidas en la zona; en virtud de ello es recomendable que los factores de seguridad que se presentan a cada uno de los taludes de influencia sean superiores a 1.5 sin sismo (NEC 15).

4.5. Cálculo de los factores de seguridad

En la modelación realizadas se consideraron únicamente los perfiles B – B y C – C, ya que el C – C y el A – A son similares por encontrarse a ambos lados de la planta de tratamiento.

El perfil C – C es un perfil que está localizado a lo largo de la superficie del talud y que no está interrumpido por la planta de tratamiento existente en la zona; el perfil B – B está considerado desde la cabecera del talud y a la mitad de la ladera artificial es cortado con la parte superior de la obra implementada.

Esta particularidad le da una diferencia en los resultados, ya que en el segundo caso nombrado la planta de tratamiento actúa como un tipo de muro de contención, por lo cual el factor de seguridad en esta zona del talud se observa mayor que en el área libre del talud.



4.6. Modelación Perfil C – C

Este corte al igual que el perfil B – B fue analizado basado en cinco aspectos fundamentales:

- a. **Las condiciones originales del talud:** Se modeló en función de la geometría actual del talud, con características propias y en condiciones normales de trabajo, es decir, con humedad natural, eventos habituales, etc.
- b. **Con efecto sísmico:** Se realizó la modelación con acción de un evento sísmico cuya aceleración fue determinada previamente horizontal 0.21 g y vertical 0.11 g; este cálculo se lo realizó por posibles fenómenos sísmicos que se pueden dar en la zona.
- c. **Con nivel de agua sobre la superficie:** Se consideró la acción del nivel de agua sobre la superficie, esto puede suceder en un periodo de lluvia intensa y prolongada, que por un lado saturaría a los materiales bajo el talud y por otro lado generaría un peso adicional al talud, pudiendo ser un desencadenante del movimiento.
- d. **Con nivel freático a 3 metros desde la superficie:** Se consideró el ascenso del nivel freático a 3 metros desde la superficie, este evento puede suscitarse de igual forma que el literal c por infiltración de aguas lluvias o posibles acuíferos que existan en la zona que al aumentar su caudal, aumentan su nivel.
- e. **Con nivel freático a 5 metros de profundidad:** Con igual criterio que el literal d, se realizó la modelación buscando la fluctuación del FS en función del ascenso o descenso del nivel de agua, observándose en los resultados influencia directa del ascenso en el nivel freático con respecto a la estabilidad del talud.

4.6.1. Resultados obtenidos de la modelación del perfil C - C

La tabla VII indica los resultados obtenidos de la modelación, cabe mencionar que al analizar con el método de Bishop se obtuvo Factores de Seguridad menores que con el Método de Janbu, es decir un método más conservador.



FACTOR DE SEGURIDAD ENCONTRADO EN LA MODELACIÓN DEL PERFIL C - C			
CONDICIÓN DE ANÁLISIS	MÉTODO EQUILIBRIO LÍMITE		CUMPLE CON LA NORMA DE SEGURIDAD
	FS BISHOP	FS JANBU	
Condición normal	0.966	1.022	FS < 1.5
Condición sísmica	0.738	0.752	FS < 1.2
Condición nivel agua sobre superficie	0.814	0.835	FS < 1.5
Con nivel freático a 3 m de superficie	0.873	0.902	FS < 1.5
Con nivel freático a 5 m de superficie	0.906	0.937	FS < 1.5

Tabla VII. Factores de seguridad obtenidos en la modelación perfil C - C

4.6.2. Análisis de resultados

Los factores de seguridad encontrados muestran que existe un deslizamiento en el talud, si bien es cierto los valores calculados en condiciones normales son muy cercanos a la unidad, demuestran una inestabilidad entre los factores condicionantes y desencadenantes al movimiento.

4.6.2.1. Condiciones normales

El factor de seguridad en condiciones reales con el método Bishop más conservador muestra un valor de 0.966, esto principalmente se debe a los siguientes factores:

- La formación geológica de la zona es de por sí inestable.
- La geometría que presenta el talud no es la adecuada.
- Existe una carencia de vegetación que ayudaría a estabilizar al talud.

4.6.2.2. Condición sísmica

El Ecuador al igual que la zona de estudio al estar ubicado en el cinturón de fuego presenta alto riesgo de movimientos sísmicos que afectaría a las obras construidas en la zona como a los taludes involucrados.



El análisis muestra que con un sismo que tenga epicentro en la zona similar a 7 en la escala de Richter, el talud perdería su estabilidad generando un movimiento de masas que provocarían el colapso de la obra construida.

4.6.2.3. Nivel de agua sobre la superficie

El efecto de un torrencial aguacero que presente una duración larga provoca por un lado la saturación del material y por otro lado la disminución a la resistencia al cortante del material por un exceso de carga; al tener en el sitio un material permeable el agua infiltraría y consecuentemente generaría el colapso.

En épocas lluviosas en la zona el agua, en función del FS encontrado en esta condición está generando un movimiento, por lo cual dentro de las recomendaciones se hará hincapié a este desencadenante.

4.6.2.4. Nivel freático a 3 m de la superficie

Se observa que conforme disminuye el nivel freático aumenta el valor del factor de seguridad, lo cual es un indicador de que este tipo de material al estar saturado pierde resistencia y favorece a la inestabilidad de la ladera.

4.6.2.5. Nivel freático a 5 m de la superficie

Conforme desciende el nivel freático sigue aumentando el FS, como se mencionó anteriormente, en el Cañar es baja la probabilidad de acuíferos o fuentes subterráneas, por lo cual es básico para garantizar la estabilidad el contar con sistemas adecuados de drenaje que eviten la saturación del material, es decir, evitar la infiltración por efectos de la lluvia.

4.7. Modelación del perfil B - B

La modelación se realizó aplicando los mismos criterios utilizados en el perfil C – C, la diferencia es que se consideró únicamente el FS generado por Bishop ya que se corroboró que utiliza un criterio más conservador, por lo cual asumimos este como método modelador para este perfil.

Adicional, este perfil presento la característica que el Tanque de Tratamiento trabaja con un muro de contención al movimiento, pero no garantiza la infiltración proveniente de aguas lluvias.

4.7.1. Resultados obtenidos de la modelación del perfil B - B

La tabla VIII indica los resultados obtenidos en la modelación de este perfil, aplicando los criterios ya descritos



FACTOR DE SEGURIDAD ENCONTRADO EN LA MODELACIÓN DEL PERFIL B - B		
CONDICIÓN DE ANÁLISIS	MÉTODO EQUILIBRIO LÍMITE	CUMPLE CON LA NORMA DE SEGURIDAD
	FS BISHOP	
Condición normal	1.284	FS < 1.5
Condición sísmica	0.982	FS < 1.2
Condición nivel agua sobre superficie	1.080	FS < 1.5
Con nivel freático a 3 m de superficie	1.156	FS < 1.5
Con nivel freático a 5 m de superficie	1.202	FS < 1.5

Tabla VIII. Factores de seguridad obtenidos en la modelación perfil B - B

4.7.2. Análisis de resultados

Los factores de seguridad encontrados muestran que existe una estabilidad de talud pero que no cumple con el FS de seguridad mínimo para este tipo de obras.

La estática presentada en esta parte del talud, obedece como se mencionó anteriormente al efecto que causa sobre el talud la estructura construida que forma parte de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que hace un efecto de contra fuerte al movimiento producido en las zonas aledañas; sin embargo, esto no garantiza que el talud no colapse por cause de la permeabilidad presente en el suelo que genera saturación del material.

4.7.2.1. Condiciones normales

El talud en esa zona muestra estabilidad y un factor de seguridad mayor a la unidad, 1.284, este valor aumentaría con los cambios que se sugieren en el capítulo y con una mejor vegetación de la zona.

4.7.2.2. Condición sísmica

El efecto de un sismo en esta zona del talud también generaría el colapso del material, provocando a su vez un derrumbe del suelo sobre la estructura construida, con la posibilidad de generar daños estructurales fuertes.



4.7.2.3. Nivel de agua sobre la superficie

El efecto de una lluvia torrencial llevaría al límite el equilibrio del talud, el efecto del agua sobre la superficie del talud a pesar de disminuir el FS no generaría un deslizamiento de material, pero si generaría saturamiento en zonas aledañas al perfil.

4.7.2.4. Nivel freático a 3 m de la superficie

De igual manera que sobre la superficie disminuye le FS de seguridad el NF conforme crece desde el sub suelo hacia la superficie el nivel de agua, pero sin generar una fallo del talud, aun se observa estabilidad.

4.7.2.5. Nivel freático a 5 m de la superficie

El nivel de agua conforme aumenta su profundidad desde la superficie pierde influencia con respecto a la estabilidad del talud, el FS es similar a las condiciones originales del terreno.

4.8. Localización del plano de falla

El plano de falla es el lugar por el cual un material competente permite el deslizamiento de otro incompetente, pudiendo ser el contacto entre dos estratos, el contacto suelo - roca, o la profundidad a la cual el suelo presenta una alta saturación.

En el presente estudio el plano de falla en los dos perfiles se ubican alrededor de los 8 m de profundidad desde la superficie; el tipo de material es un factor primordial para generar el movimiento del talud estudiado, el agua no pierde influencia en la estabilidad, en ambos casos el software ayuda a generar diferentes planos de falla, siendo los principales en el lugar que la modelación encuentra el menor factor de seguridad.



CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Recomendaciones generales

Las medidas correctivas a implementarse en la zona están en función a los condicionantes que desencadenan el movimiento. En el talud estudiado estos hacen referencia a:

- a. Aspectos relacionados a la pendiente que presenta el talud.
- b. Aspectos hidrogeológicos.
- c. Zonas erosionadas.

A continuación, se estudiarán brevemente las posibles soluciones geotécnicas al movimiento.

5.2. Reconformación de la superficie del talud

La conformación del talud es una técnica altamente utilizada para la estabilización de zonas aledañas a carreteras y de taludes que presentan movimiento con posibilidad de afecciones a personas y obras civiles, este método incluye las siguientes alternativas de trabajo:

- a. Tender el talud para disminuir la pendiente.
- b. Cambio de forma de la superficie del talud, cambio de pendiente.
- c. Construcción de bermas intermedias para generar diferentes niveles de talud.
- d. Remoción de material de la corona del talud, provocando la disminución en la altura del mismo y modificando su peso.
- e. Construcción de muros y obras de control geotécnico que se requieran para garantizar la estabilidad del talud.
- f. Manejo de aguas de escorrentía que incluye cunetas y estructuras de entrega de las aguas recolectadas.
- g. Protección de la superficie del terreno por medio de vegetación o recubrimientos.

En el presente estudio se proponen como medias correctivas los literales c, e, f y g. La decisión de tomar una de ellas estará en función de los presupuestos asignados para trabajos de estabilización que disponga la entidad administradora de la planta de tratamiento.



5.2.1. Determinación de pendiente estable y generación de bermas

Este método consiste en encontrar la pendiente que garantice la estabilización del talud, en función del ángulo de inclinación del mismo; el material presente tiene influencia directa para la pendiente óptima de estabilización.

El plantear un cambio de pendiente incide en generar un cambio en la geometría total del talud, proponiéndose como medida estabilizante la generación de bermas intermedias en todo el talud.

Para el diseño de la pendiente del talud se analiza a detalle las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales constitutivos del talud; se tiene que tener en cuenta que el suelo y la roca son materiales sumamente complejos y diversos, además con el tiempo tienden a deteriorarse.

Se efectúa un juicio integral para resolver el valor de la pendiente y la forma de talud, analizando el peso de todos los factores, considerando los ensayos de laboratorio y análisis de estabilidad empleando modelamientos matemáticos y físicos.

Para determinar la pendiente que avale la estabilidad del talud al tener un material cohesivo mayormente, pero con un ángulo de fricción, el método que determina la inclinación de acuerdo al ángulo de fricción interna del material, especifica una pendiente entre $2/3\phi$ a $3/4\phi$. Cabe recalcar que la pendiente no debe ser superior a ϕ .

De los ensayos geotécnicos, ensayos de laboratorio y recopilación de información, se sabe que los materiales predominantes son granulares, constituidos por suelos de características friccionantes catalogadas por la SUCS como SC, es decir arenas arcillosas - limosas, de compacidades que varían de muy sueltas a densas.

Para definir la pendiente optima se debe considerar la altura con la que va a conformarse la berma; para los materiales presentes debe estar comprendida entre los 5 m a 15 m de altura, con pendientes sugeridas entre 1.7H:1V a 2H:1V y el ancho de la berma mayor a 4 metros.

5.2.2. Medidas hidráulicas planteadas

El drenaje y el subdrenaje son procedimientos de mitigación o prevención de deslizamientos muy eficaces; su empleo es muy habitual y existen métodos de estudio y diseño que se basan en el flujo de agua tanto superficial como subterráneo.

Estos métodos son muy efectivos y tienden a ser más económicos que la construcción de obras civiles de contención, ya que por querencia desactiva la presión de poros, la cual es considerada como el principal elemento desestabilizante de los taludes. El drenaje disminuye el peso de la masa, aumentando paralelamente la resistencia del talud al reducir la presión de poros.



Existen varias metodologías de drenaje superficial y profundo. El objetivo principal de estos procesos, es la reducción de la presión de poros con el fin de aumentar la resistencia al corte y eliminar las fuerzas hidrostáticas desestabilizantes, lo que implica una mejora en el factor de seguridad de la superficie de falla por debajo del nivel de agua.

5.2.3. Drenaje superficial

En el presente estudio se recomienda un drenaje superficial como medida estabilizante. El objetivo principal de este tipo de drenaje es la mejora en la estabilidad del talud ya que disminuye la infiltración y evita la erosión. El sistema recolector de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y conducir el agua a un sitio lejos del talud que se va a proteger.

En lo posible es necesario que el agua de escorrentía se desvíe antes de que penetre el área del deslizamiento o a su vez, se infiltre en dirección al talud. También es importante indicar que el agua de las lluvias que cae directamente sobre la superficie del talud, deberá ser evacuada inmediatamente, evitando así daños a su paso por acción de la erosión, almacenamiento e infiltración.

5.2.4. Canales interceptores a mitad del talud

Los canales interceptores en las bermas sugeridas, se plantean como un tipo de drenaje superficial, el cual consiste en la construcción de canales transversales de drenaje a mitad de talud, así como canales interceptores en todas y cada una de las bermas intermedias de un talud. Esta medida se recomienda para taludes de gran altura y suelos susceptibles a la erosión.

Es recomendable que estos canales sean revestidos de manera apropiada o dependiendo del tipo de drenaje, que tengan una pendiente y profundidad adecuada para la recolección del líquido de las bermas intermedias; así como también es aconsejable que las construcciones de canales en los taludes sean de tamaño y configuración estándar.

En el presente estudio se recomienda como canales colectores un sistema de dren francés. Como consideración importante en la construcción de los canales en la mitad del talud, se debe tener en cuenta una pendiente que impida la sedimentación de materiales, para ello se recomienda que la pendiente sea mayor o igual al 2%, tanto para las bermas de los taludes, así como los drenes superficiales que podrán servirán de colectores principales.

El líquido receptado de los drenes podrá ser evacuado en la base de la planta de tratamiento, o directamente sobre la vía existente.



5.2.5. Dren Francés

El dren francés es una zanja de profundidad menor, el cual se satura de material granular y cuyo propósito es recolectar las aguas de escorrentía. El objetivo principal es disminuir los problemas de erosión y eventualmente, prevenir movimientos superficiales del terreno. Este tipo de dren tiene muy poco efecto con relación a la estabilidad de los deslizamientos profundos. En el presente caso, es una medida mitigante viable ya que se trata de un deslizamiento de tipo circular superficial.

La profundidad del dren en mención normalmente varía de 30 a 50 cm y el ancho de 60 cm a 1 m. En el presente caso se propone una profundidad de 50 cm y un ancho de 60 cm acorde al ancho de la máquina que pueda realizar la excavación.

Para el relleno de las zanjas, generalmente se utilizan bloques de piedra triturada o material aluvial grueso limpio. En el fondo del dren francés comúnmente se coloca ya sea geotextil o geomembrana. La colocación de este último, evita la infiltración del agua recolectada.

5.2.6. Materiales para subdrenes de zanja

De acuerdo a los materiales que se utilizan de manera habitual para la construcción de subdrenes de zanja y que son los que se proponen como alternativa en el presente estudio, tenemos los siguientes:

- a. Geotextiles no tejidos.
- b. Materiales granulares.
- c. Tubería perforada.

Construidas con fibras sintéticas, los geotextiles se componen de telas permeables, especialmente de poliéster, nylon, polipropileno y polietileno. Generalmente el geotextil se clasifica en tejido y no tejido. Los geotextiles tejidos se diferencian a su vez, de acuerdo con el sistema de tejido, siendo los más utilizados para filtro y los planteados en el diseño, son los no tejidos.

El geotextil actúa como un filtro que permite el flujo del agua e impidiendo a su vez el paso de las partículas del suelo hacia el material granular.

En el extremo inferior del geotextil se coloca una tubería perforada especial para subdrenes, la cual recolecta y conduce el agua, es recomendable que la tubería perforada debe tener como mínimo un diámetro de 6 pulgadas.

Históricamente los materiales más utilizados con respecto a los materiales granulares, para la construcción de subdrenes de zanja, son los suelos granulares y bloques de roca.



5.3. Recomendaciones de mitigación

Sobre la base de los análisis de estabilidad efectuados resulta por una parte inminente el cambio de la geometría del talud como medida estabilizante; por otra parte, en función de los ensayos realizados se puede decir que la disminución de la presión intersticial contribuye claramente a mejorar las condiciones de estabilidad de un deslizamiento, entonces, las acciones que deban emprenderse deben ser enfocadas también a lograr una disminución de la infiltración con la finalidad de disminuir el flujo hacia las capas superficiales.

Con el propósito de mejorar las condiciones de estabilidad en el sector en estudio y disminuir su amenaza a la planta de tratamiento, se han identificado y definido posibles acciones de control e intervención, mismas que procuran alcanzar las siguientes metas:

- a. Incrementar la evapotranspiración con el objetivo de disminuir la infiltración hacia el acuífero profundo y zonas saturadas intermedias ocasionando una disminución de la presión intersticial en las formaciones.
- b. Disminuir la tasa de erosión que se produce en el pie del deslizamiento.

Estas metas pueden ser alcanzadas empleando técnicas de bajo impacto ambiental mediante construcciones mecánicas y biológicas. En efecto, las obras de drenaje deben procurar no alterar el relieve, ocasionar un mínimo movimiento de tierras y desbroces de vegetación, lo cual se obtiene mediante el empleo de geodrenes quienes tienen la ventaja de que no requieren material pétreo importado ya que el relleno de la zanja se realiza con el mismo material excavado.

En cuanto se refiere a las obras biológicas para el control de la escorrentía e infiltración, se recomienda emplear especies nativas del sector o también naturalizadas ya que de esta manera se logra que en los procesos de repoblación vegetal las pérdidas sean mínimas.

En función de lo expuesto se plantea que en los suelos erosionados se realice la revegetación integral en un área y que consiste en un sistema de revegetación integral, dicha medida consistirá en la siembra de árboles, arbustos y especies herbáceas; estas últimas se obtendrán de plantas de kikuyo y con especies arbóreas y arbustivas favorables a la estabilidad.

5.4. Conclusiones

- a. Los suelos superficialmente en el área del proyecto se encuentran constituidos en general por, arenas limosas y arcillosas de mediana de compacidad que varían de muy suelta a densa mejorando conforme se profundiza en el estrato, en virtud de ello el cambiar la superficie del talud por medio de bermas genera estabilidad al trabajar sobre suelos cuya característica geotécnica mejoran con la profundidad.



- b. Con respecto a los factores de seguridad de las laderas naturales, se puede decir que las mismas en condiciones normales de trabajo están a su límite, no así en condiciones por efecto sísmico o saturación del talud.
- c. Al tratarse de un talud en cuyos perfiles se trabajó con una misma geología, lo que se plantea como medida estabilizadora es aplicable para toda la zona.
- d. La topografía es muy similar en cada una de las zonas estudiadas por medio de los perfiles, por lo cual el cambio de la superficie del talud se empleara en toda el área proyectada.
- e. La posible fuga de agua de un canal en la cabecera del talud y demás estructuras presentes en el talud generaría una infiltración del líquido en el talud, generando un sobre peso al mismo y una disminución de su resistencia; esto problema será tratado conjuntamente con la infiltración por efectos de lluvias con los sistemas de subdrenes planteados, cuyo objetivo principal es la captación del líquido y consecuente su direccionamiento hacía la vía de llegada a la planta de tratamiento.
- f. La estabilidad de las zonas vulnerables expresadas en líneas anteriores no solo obedece a suelos saturados, sino a efectos propios de la geometría del talud asociados con a la gravedad y los parámetros geotécnicos que presentan esos suelos, por tal motivo el cambio de la geometría del talud es fundamental para mantener el equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras.
- g. El buscar posibles infiltraciones de agua que provocan la saturación del subsuelo es imprescindible, más aún cuando cerca del talud se evidencia un canal. El agua proveniente de la parte alta, al igual que de la lluvia erosiona al material presente que se observan en la zona, provocando un desprendimiento de las capas superficiales del suelo que está afectando a la estabilidad y poniendo en serio riesgo las estructuras hidráulicas allí construidas.
- h. La construcción de bermas y consecuente reforestación es vital para la estabilidad global del talud. El aprovechar el material retirado para las excavaciones de las bermas y su reutilización en las bermas generadas disminuirá considerablemente los costos de este trabajo y aumentando la estabilidad global.
- i. La siembra de especies en las zonas del talud ayudará a la estabilización del talud, eliminando la erosión en la zona y evitando la caída de material



5.5. Futuras líneas de investigación

Se recomienda como futuras investigaciones en la zona lo siguiente:

- a. Realizar en la zona ensayos geofísicos que permitan conocer a profundidad las capas que conforman el suelo en amplias longitudes, lo cual correlacionado con los ensayos geotécnicos ayudan a identificar posibles zonas saturadas (ojos de agua), materiales rocosos, materiales débiles entre otros, lo cual favorecerá a determinar una medida óptima para mitigar el problema.
- b. Análisis de posibles infiltraciones provenientes de la parte alta de la zona por efectos del canal construido en el sector.
- c. Análisis de la estabilidad del talud al construirse muros de gavión, que son fácilmente construibles y por la extensión del área de estudio, considerando las obras civiles construidas no generaría un costo alto.
- d. El análisis de estabilidad por medio de un tipo de muro diferente al de gavión, que por una parte garantice la estabilidad y sea exequible a su construcción desde el punto de vista económico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- a. Erazo. V. Recopilación de estudios Geológicos, Universidad de Cuenca, 280, (2007).
- b. Gonzales de Vallejo E, Ferrer, Ortuño, Oteo.: INGENIERIA GEOLOGICA. PEARSON / PRENTICE HALL, 744, (2002).
- c. Nuñez Del Arco. GEOLOGIA DEL ECUADOR. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, **253**, (2003).
- d. Suarez, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. (1998).
- e. Braja M.: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, THOMSON LEARNING, **594**, 115, (1999).
- f. Suarez, Jaime. Deslizamientos, ANALISIS GEOTECNICO, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. **582**, 75, (1998).
- g. Vélez, Pablo. Comprobación de las correlaciones de la presión d expansión con las propiedades índice en los suelos del sector Chaullabamba, Cuenca, recomendación para la construcción de cimentaciones. 308, (2012).
- h. Alvarez, Alfonso. Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería Civil, Instituto Mexicano del transporte. **83**, 48, 49, (2003).
- i. ROCSCIENCE. SLIDE 5.0.: Guía rápida del usuario. 2010.
- j. Quezada, B. Análisis estabilidad de ladera localizada en la abscisa 2 + 600 vía Monay – Baguanchi – Paccha, sector San Miguel de Baguanchi del cantón Cuenca, Provincia del Azuay, 129, (2015)



ANEXO I

GRÁFICOS MODELACIÓN DE PERFILES



PERFIL C – C
MODELACIÓN DEL TALUD EN CONDICIONES ORIGINALES
MÉTODO BISHOP Y JANBU

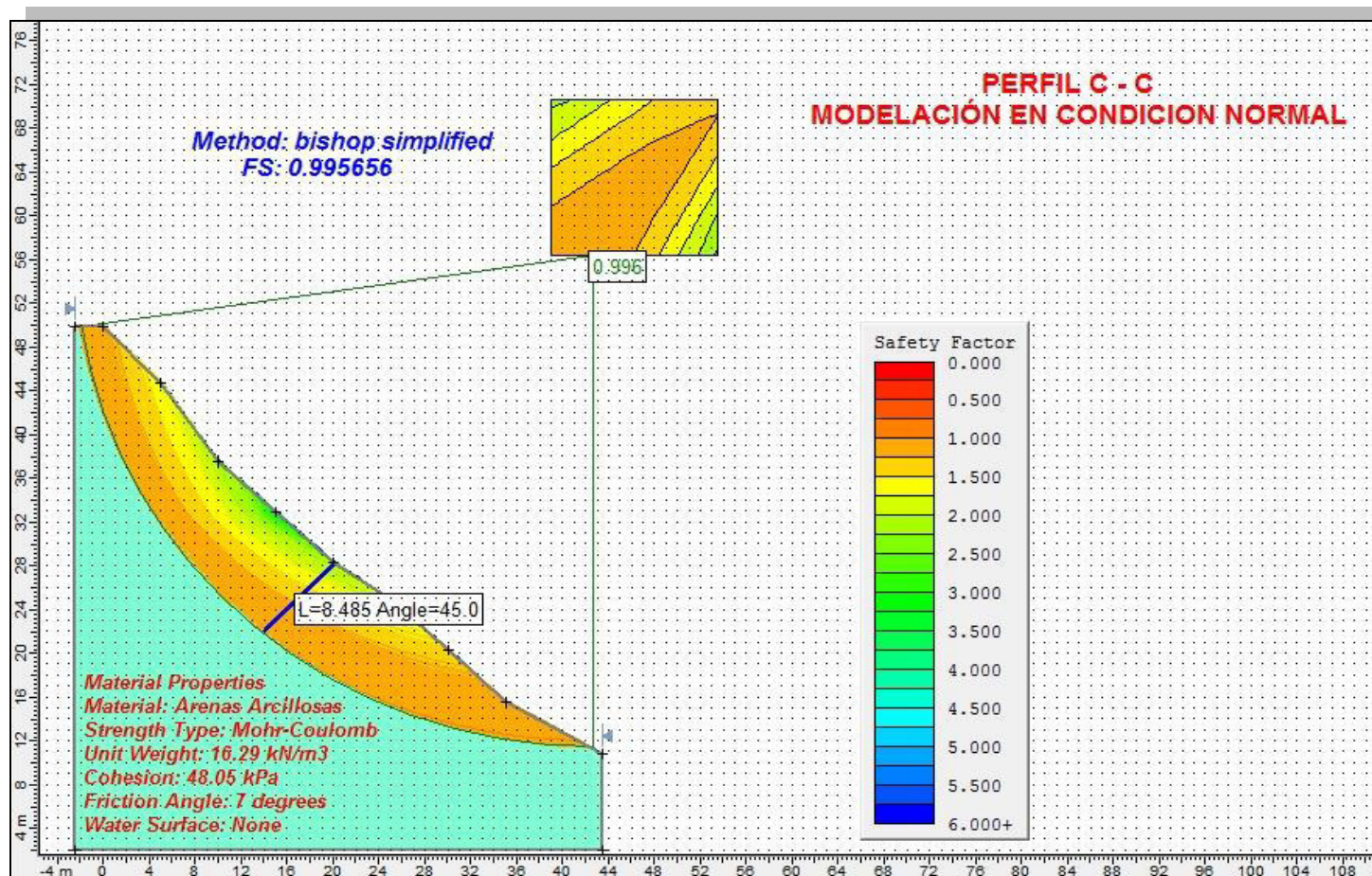


Gráfico I. Modelación perfil C – C condiciones normales de trabajo, método Bishop, localización del plano de falla

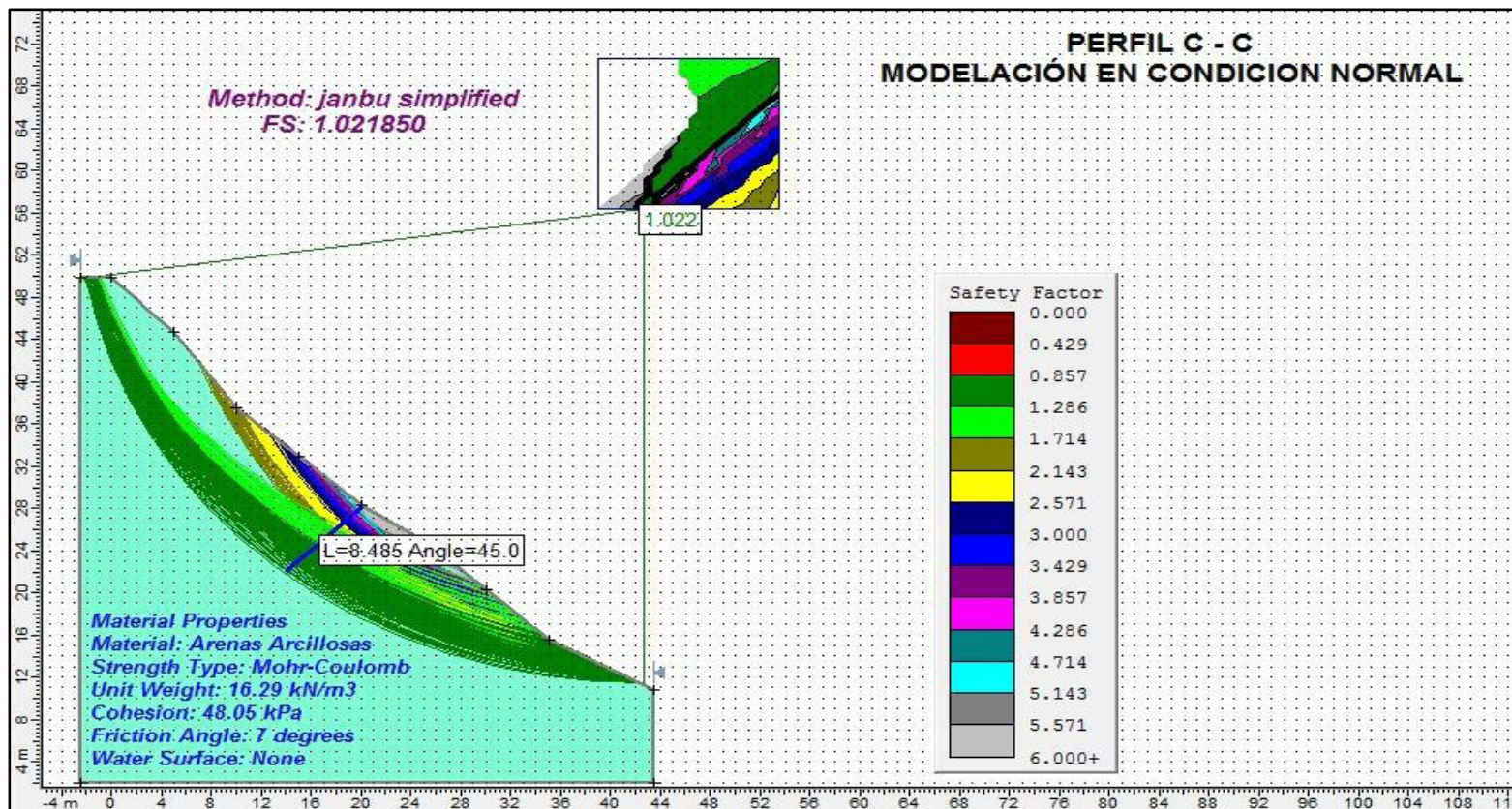


Gráfico II. Modelación perfil C – C, método de Janbu, condiciones normales de trabajo



PERFIL C – C
MODELACIÓN DEL TALUD EN CONDICIONES SÍSMICAS
MÉTODO BISHOP Y JANBU

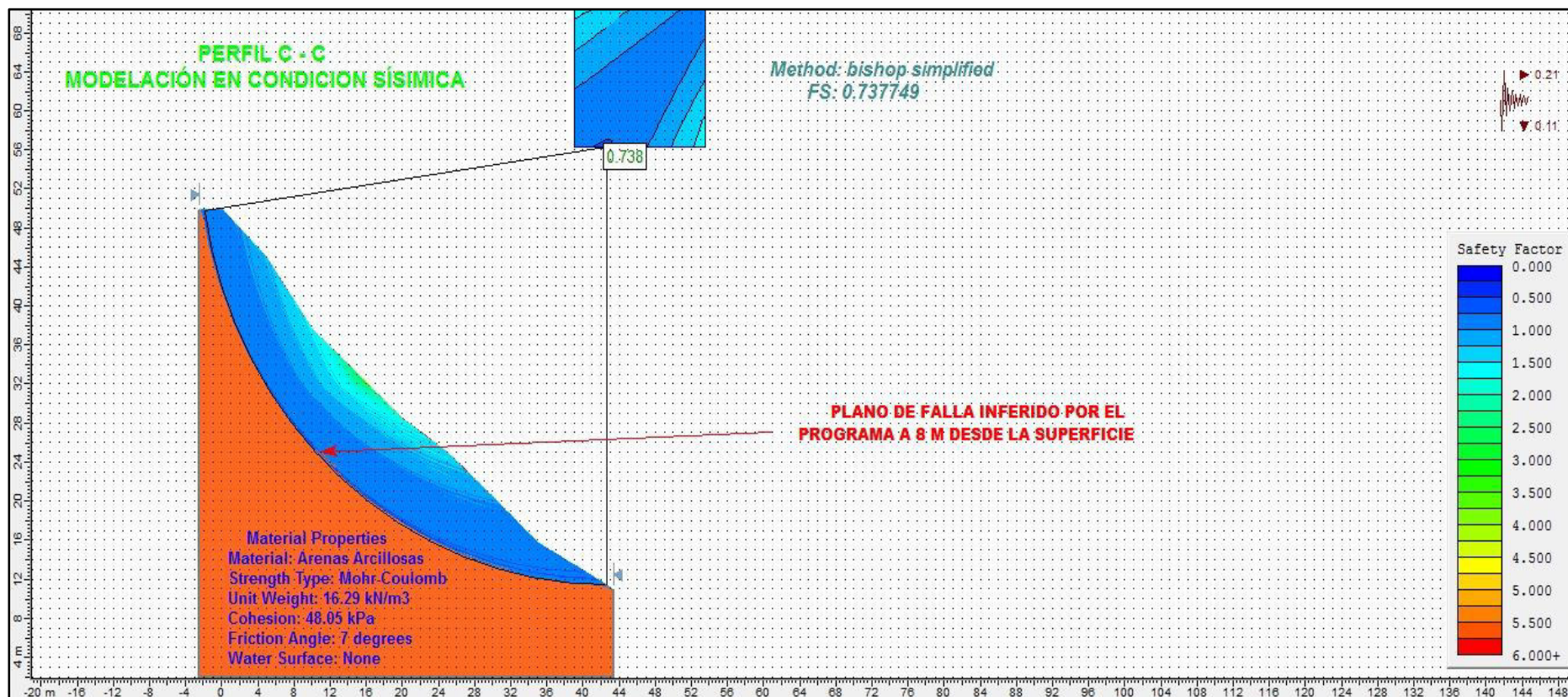


Gráfico III. Modelación perfil C – C con efecto de un sismo, método aplicado Bishop, con plano de falla inferido por el software

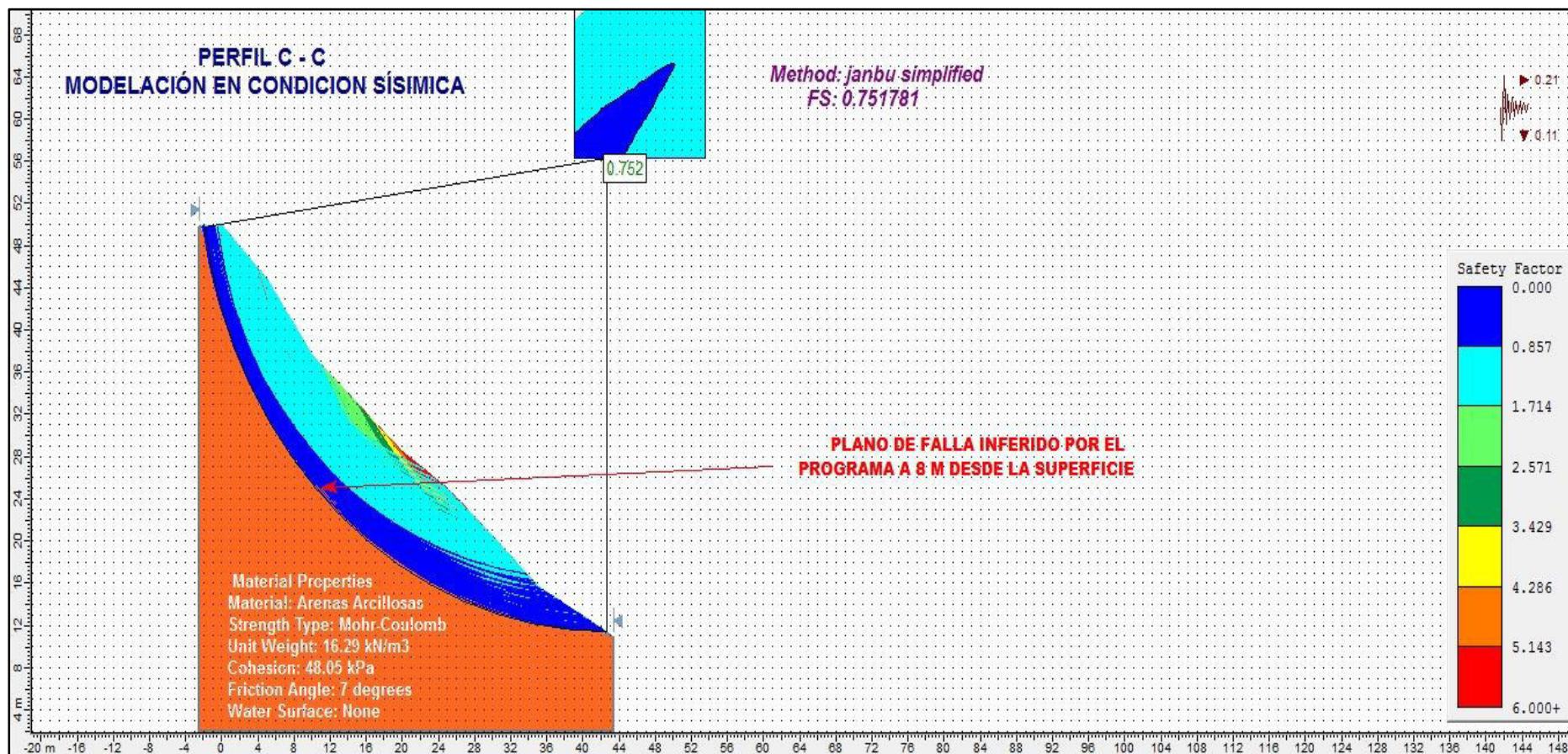


Gráfico IV: Modelación perfil C – C con efecto de un sismo, método aplicado Janbu, con plano de falla inferido por el software



PERFIL C – C
MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIÓN AGUA SOBRE LA SUPERFICIE
MÉTODO BISHOP Y JANBU

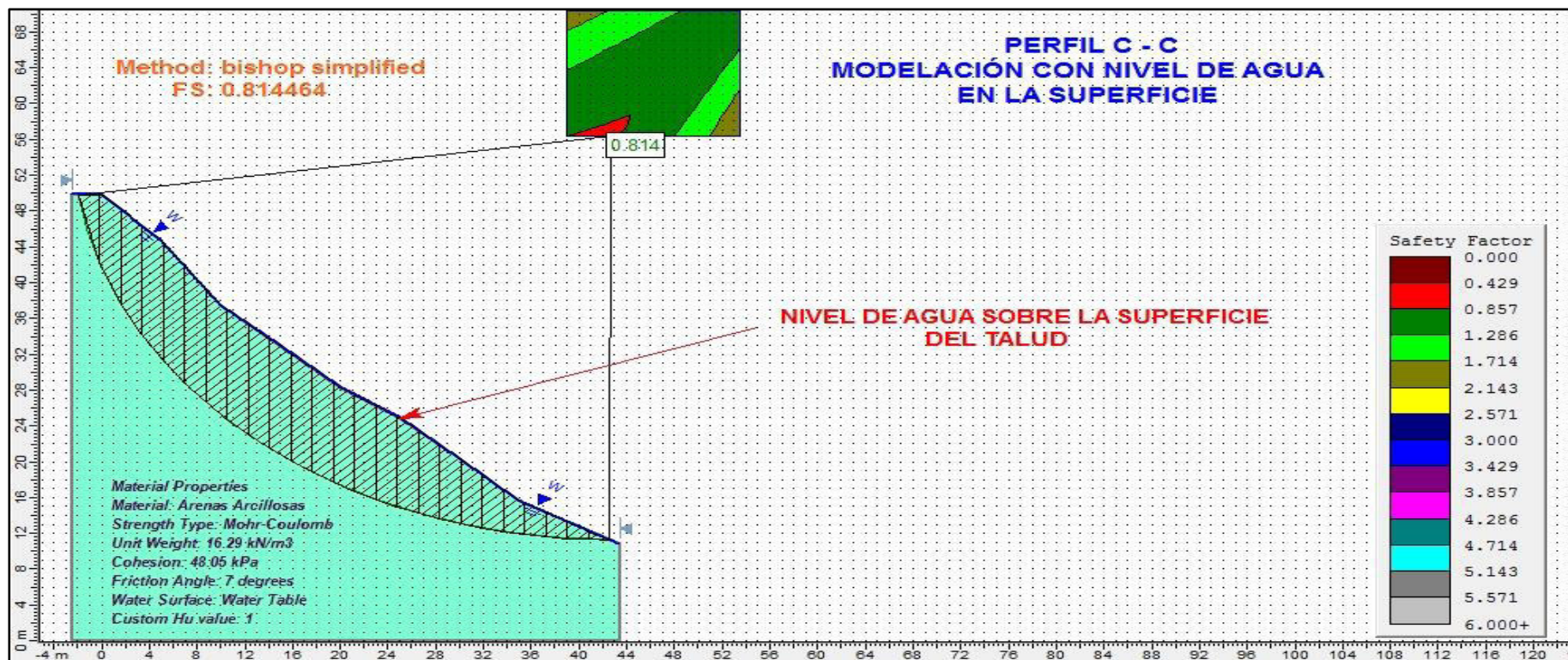


Gráfico V: Modelación perfil C – C, con nivel de agua sobre la superficie, método aplicado Bishop

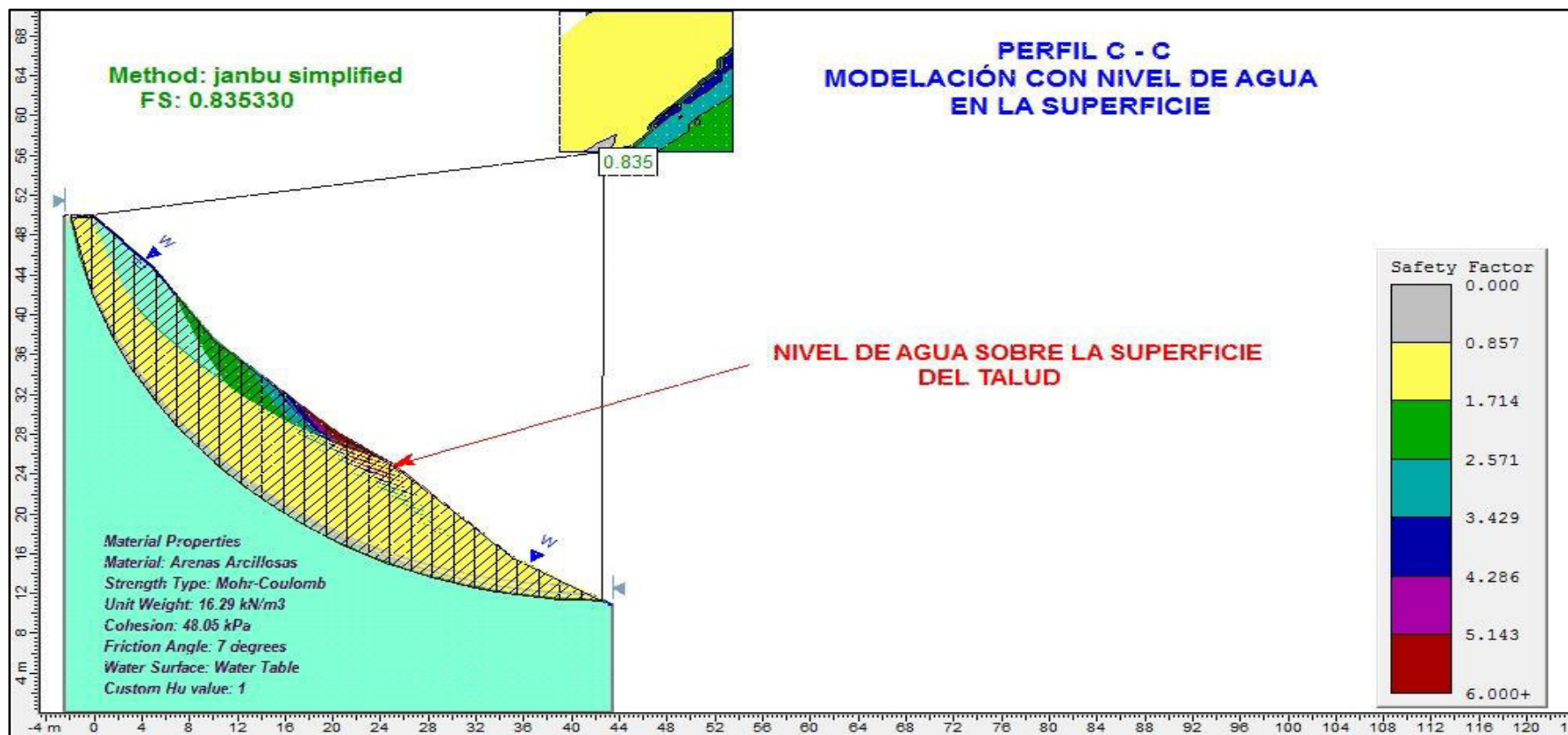


Gráfico VI: Modelación perfil C – C, con nivel de agua sobre la superficie, método aplicado Janbu, dovelas generadas por el programa



PERFIL C – C
MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIÓN NIVEL FREÁTICO A 3 M DE LA SUPERFICIE
MÉTODO BISHOP Y JANBU

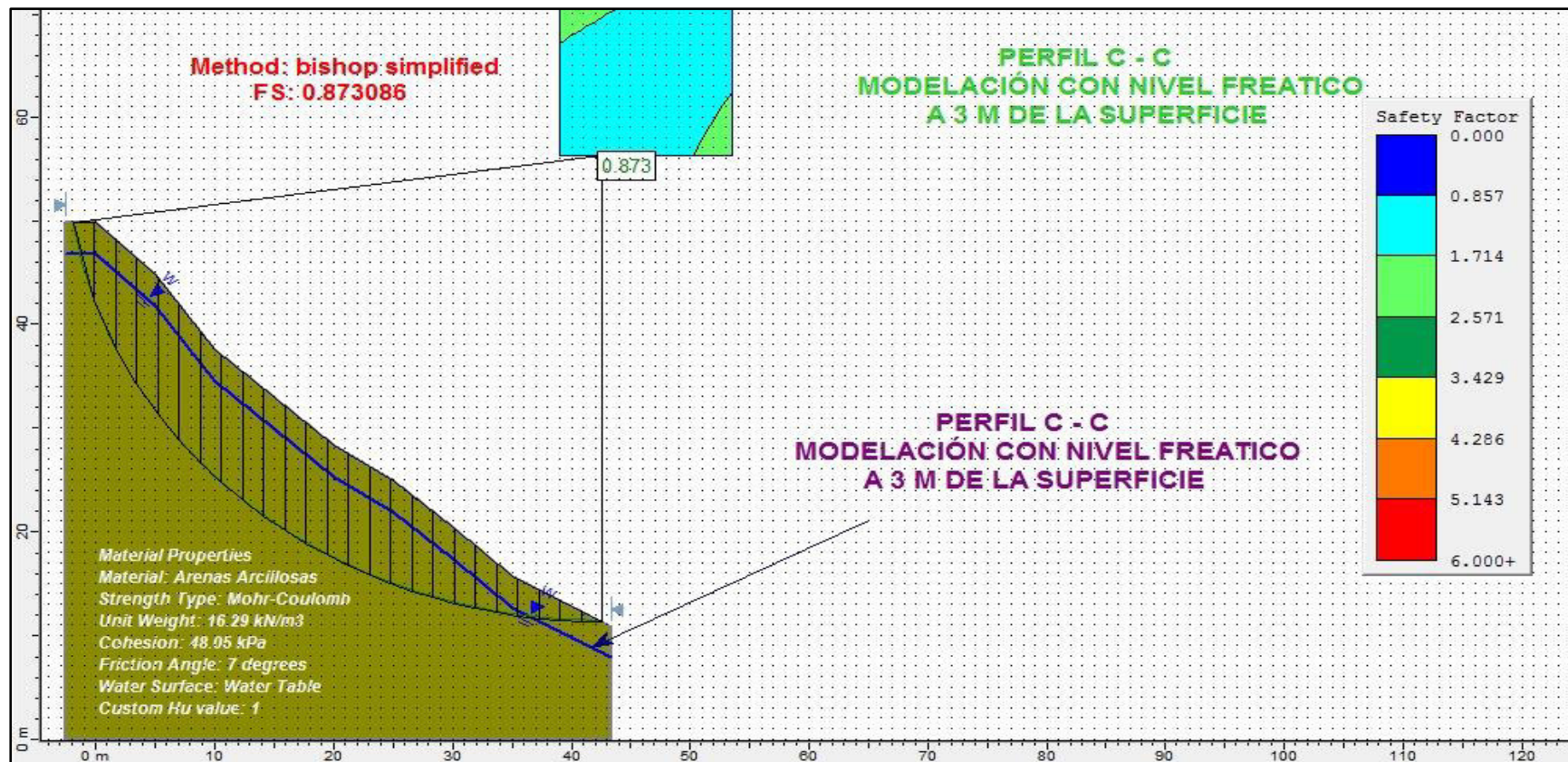


Gráfico VII. Modelación perfil C – C, nivel freático a 3 m bajo la superficie, método aplicado Bishop, se observa las dovelas generadas

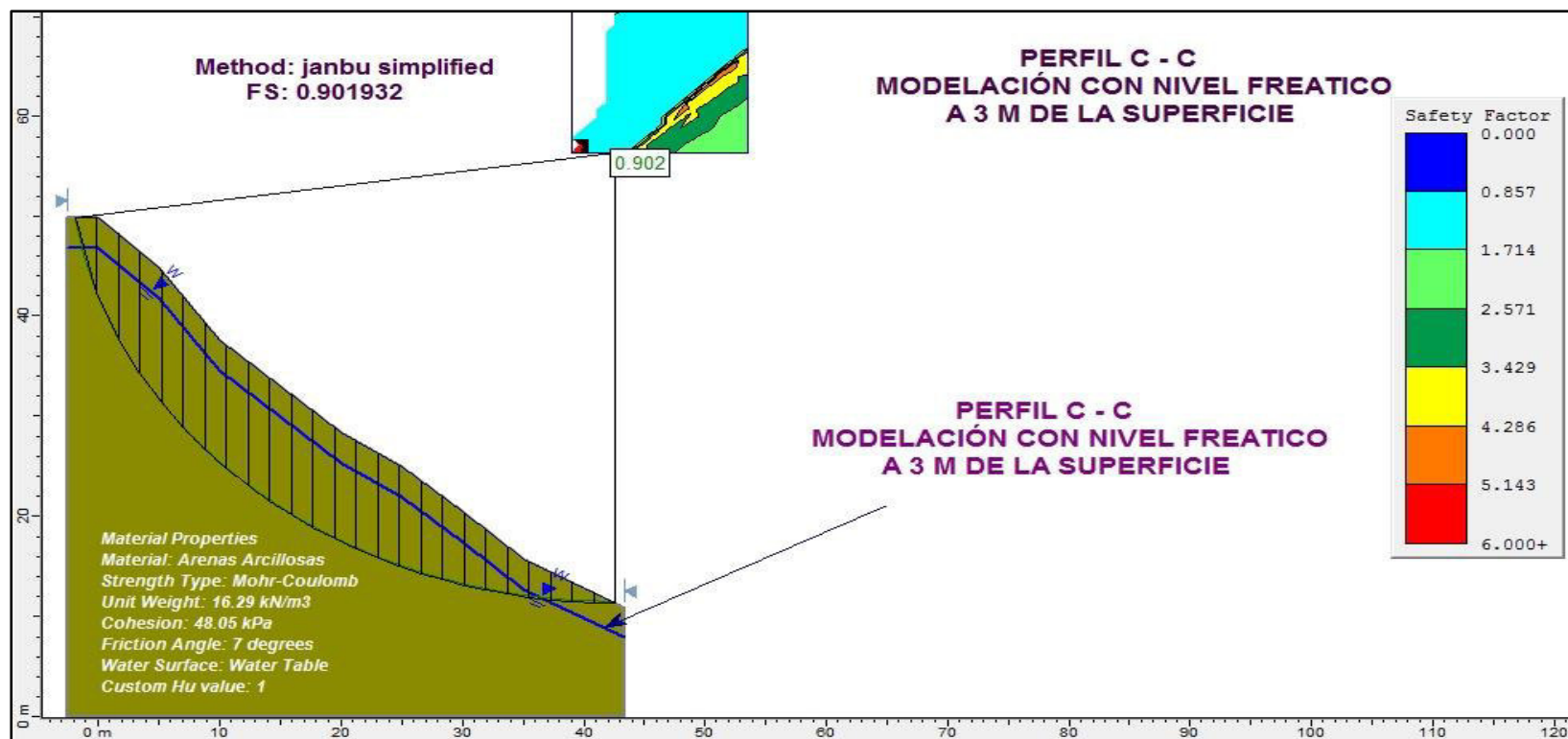


Gráfico VIII. Modelación perfil C – C, nivel freático a 3 m bajo la superficie, método de Janbu



PERFIL C – C
MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIÓN NIVEL FREÁTICO A 5 M DE LA SUPERFICIE
MÉTODO BISHOP Y JANBU

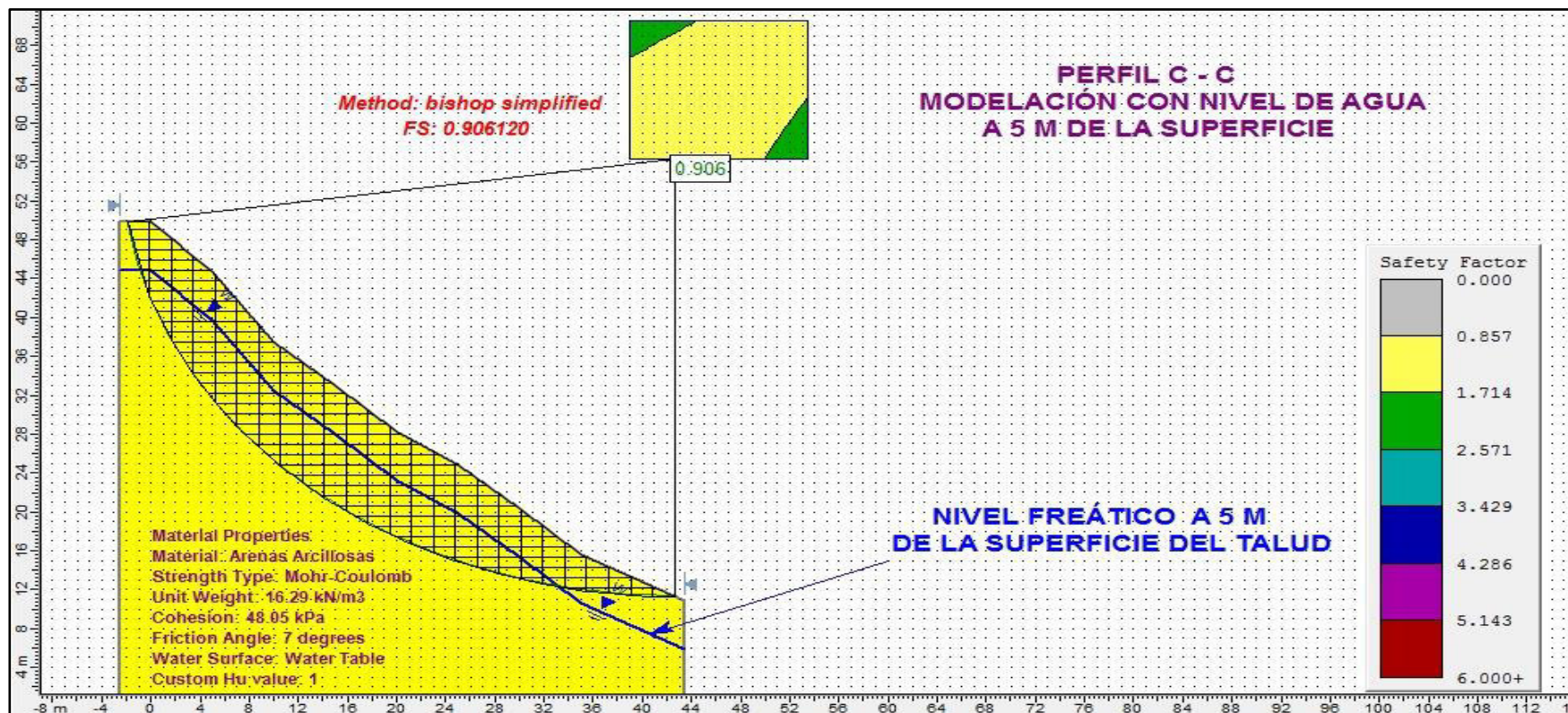


Gráfico IX: Modelación perfil C – C, condición nivel freático a 5 m de la superficie, método Bishop

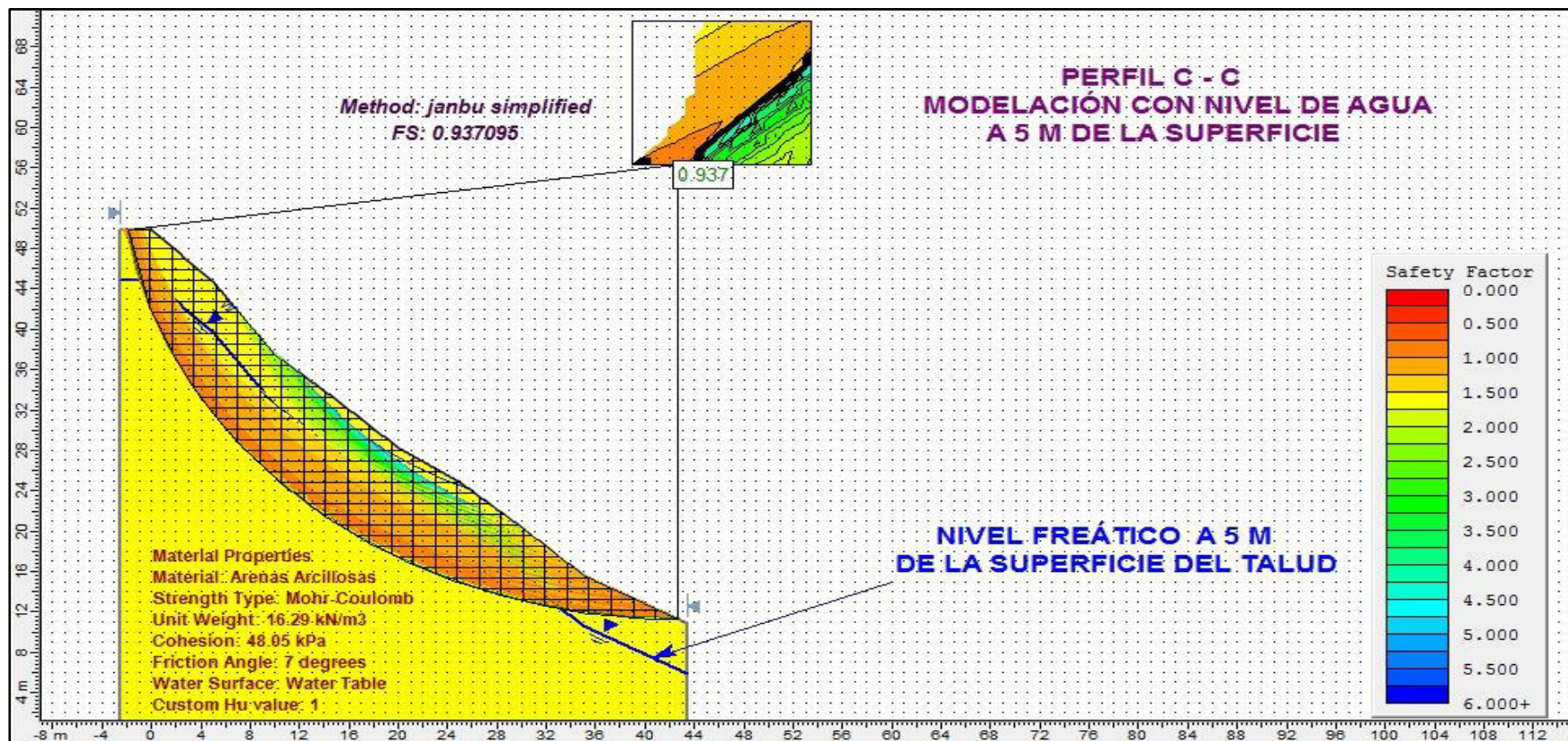


Gráfico X: Modelación perfil C- C, condición de nivel freático a 5 m bajo la superficie, método de Janbu



PERFIL B – B
MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIONES ORIGINALES
MÉTODO BISHOP

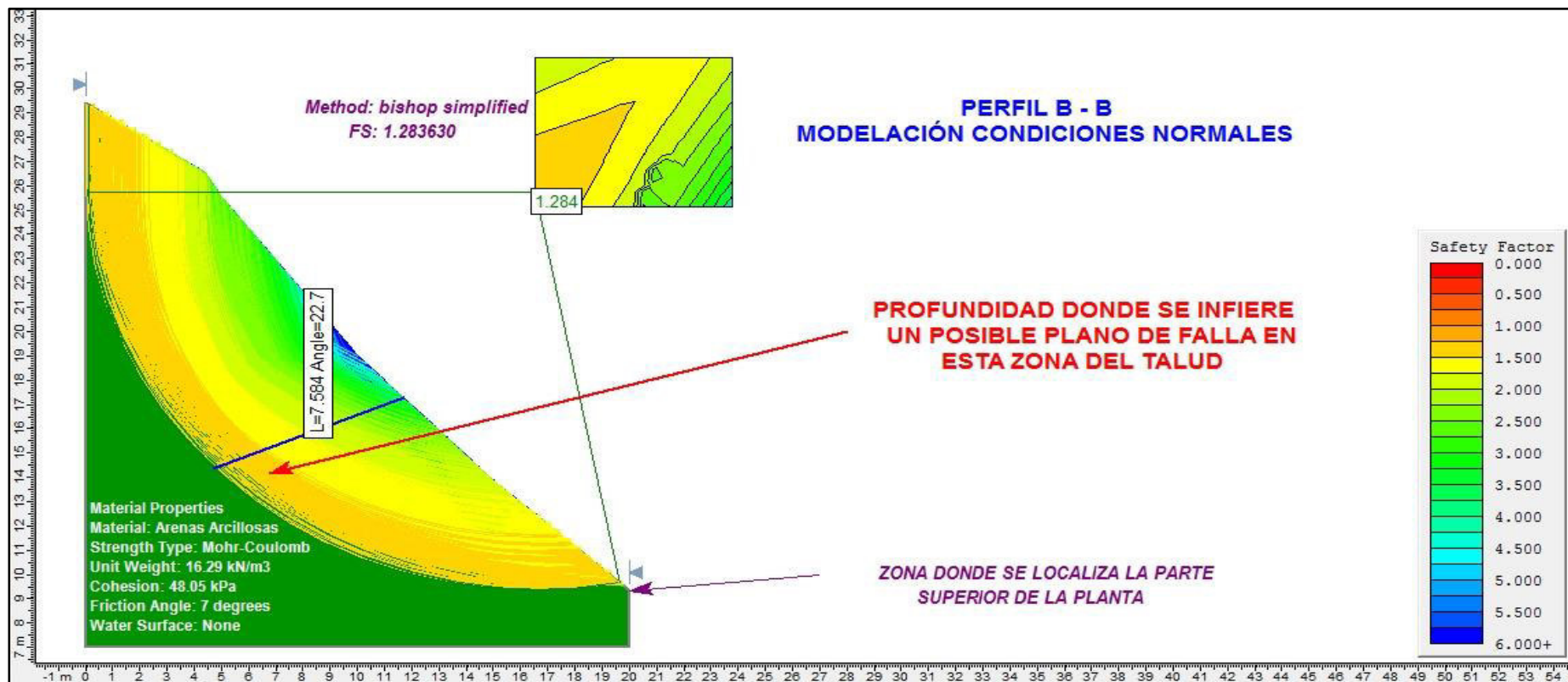


Gráfico XI. Modelación perfil B – B, condición normales, método aplicado Bishop, longitud de profundidad del plano de falla



PERFIL B – B
MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIONES SÍSMICAS
MÉTODO BISHOP

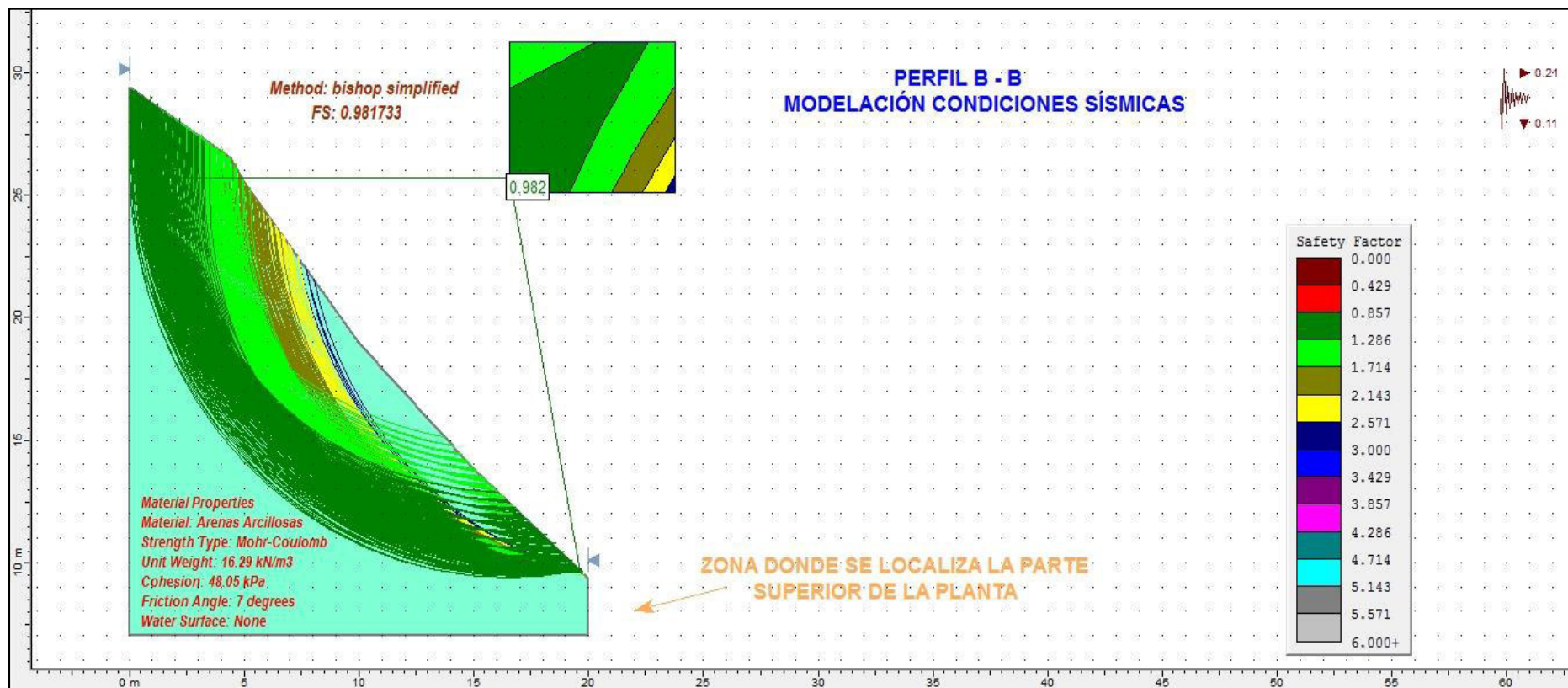


Gráfico XII: Modelación perfil B – B, condición sísmica, método Bishop, parte baja del talud límite con la planta de tratamiento



PERFIL B – B
MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL DE AGUA SOBRE LA SUPERFICIE
METODO BISHOP

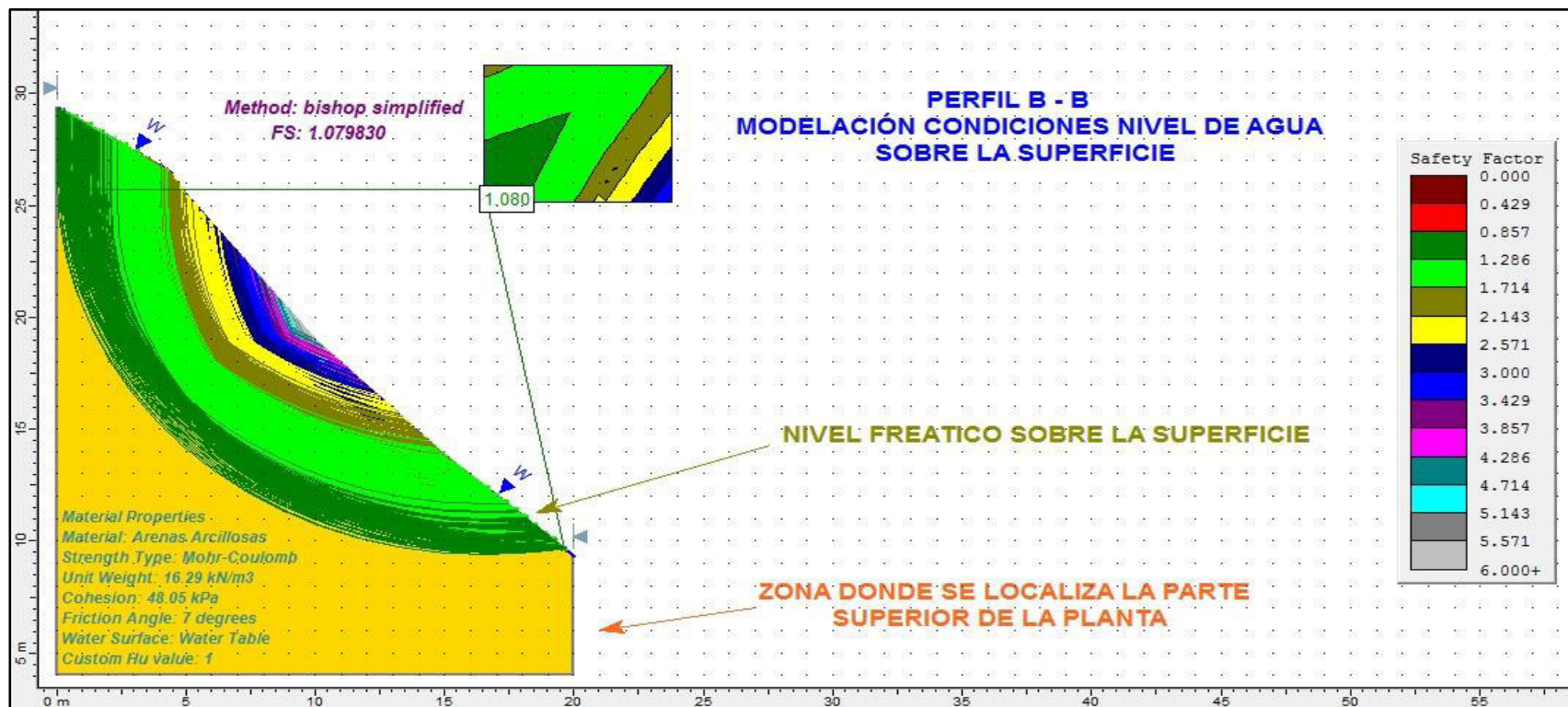


Gráfico XIII: Modelación perfil B – B, condición nivel de agua bajo la superficie, método de Bishop



PERFIL B – B
MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL DE AGUA A 3 M BAJO LA SUPERFICIE
MÉTODO BISHOP

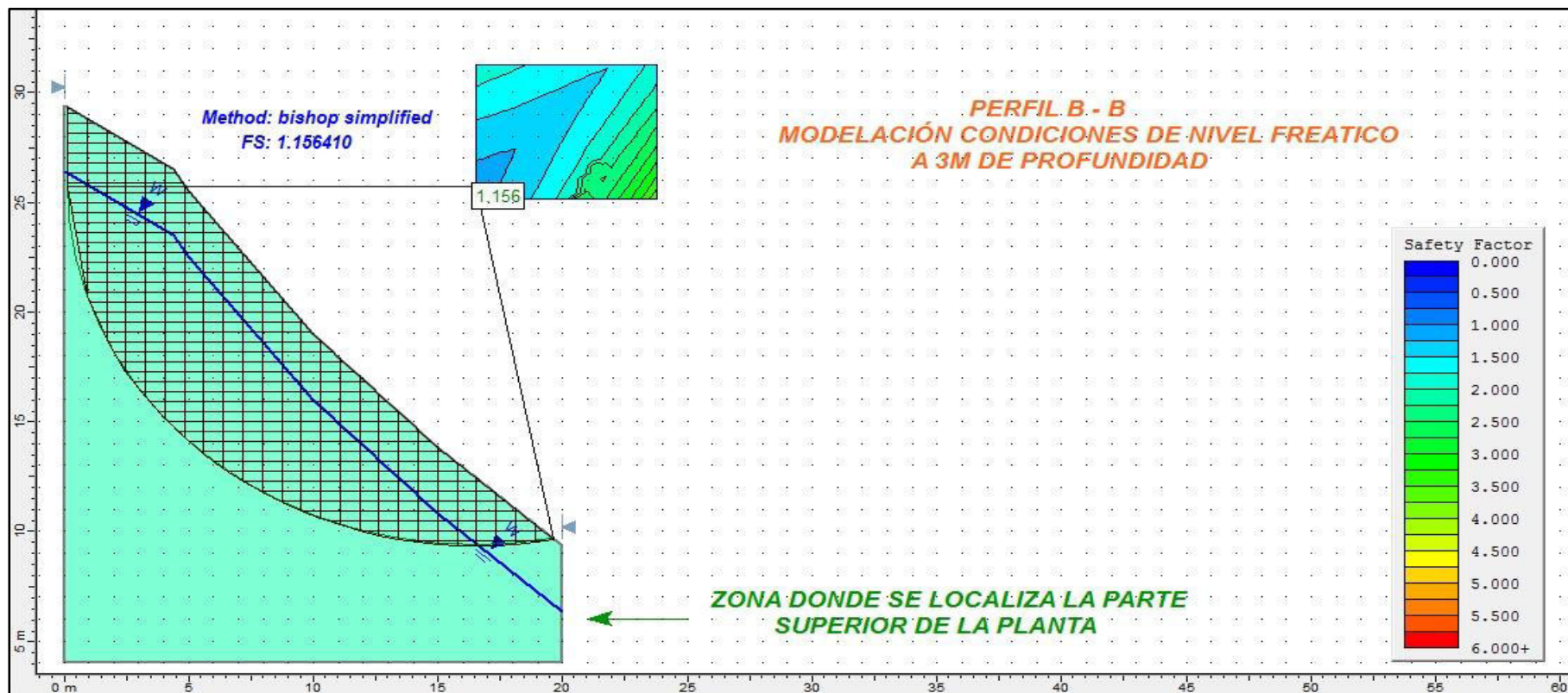


Gráfico XIV: Modelación perfil B – B, condición nivel freático a 3 m de la superficie, método de Bishop



PERFIL B – B
MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL DE AGUA A 5 M BAJO LA SUPERFICIE
MÉTODO BISHOP

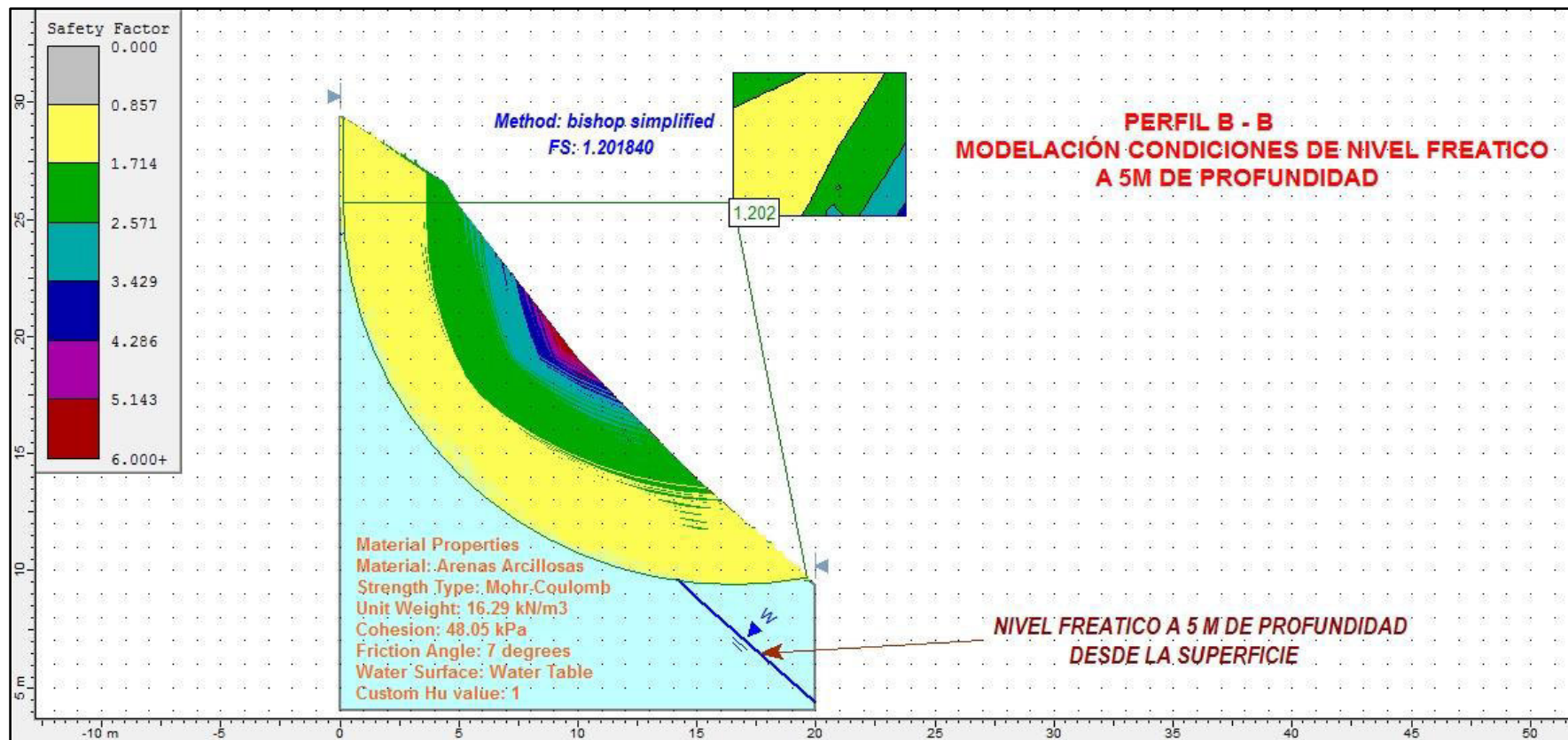
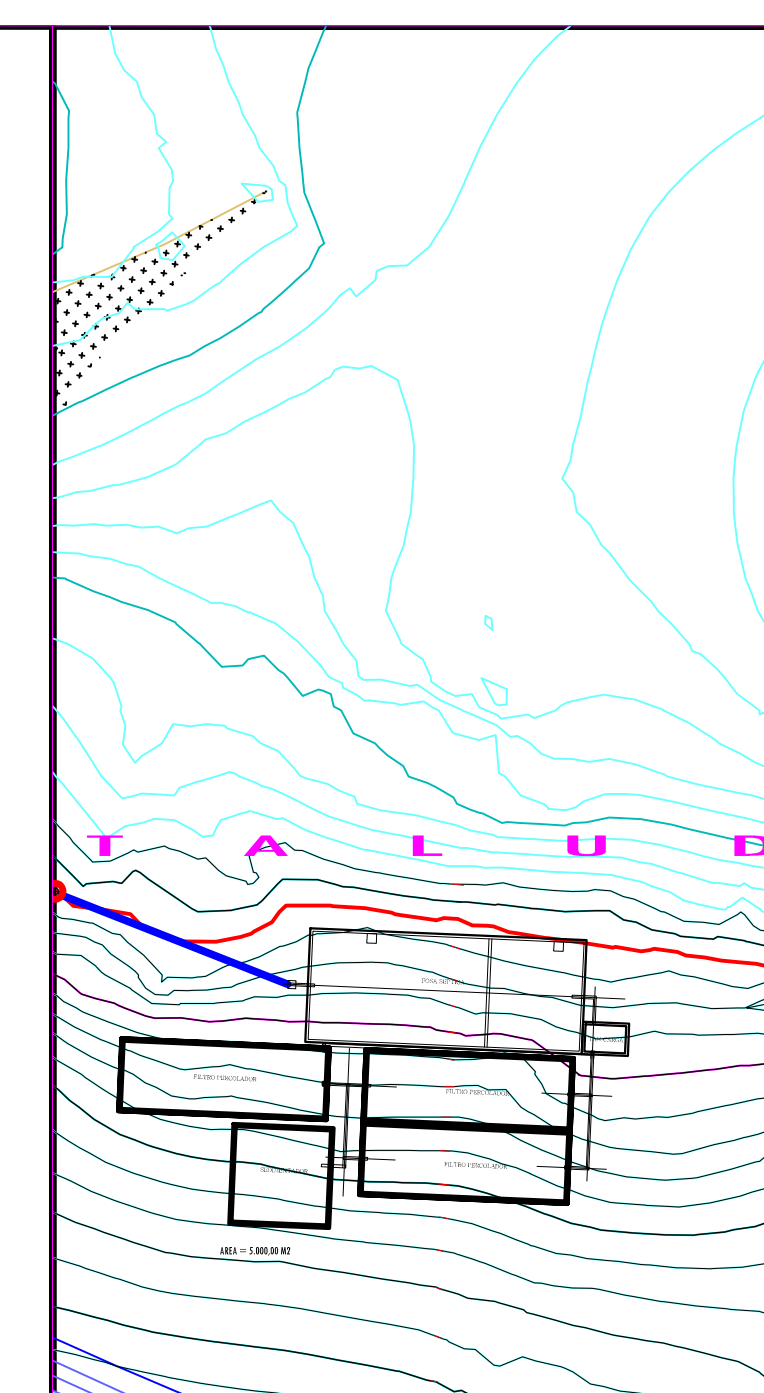
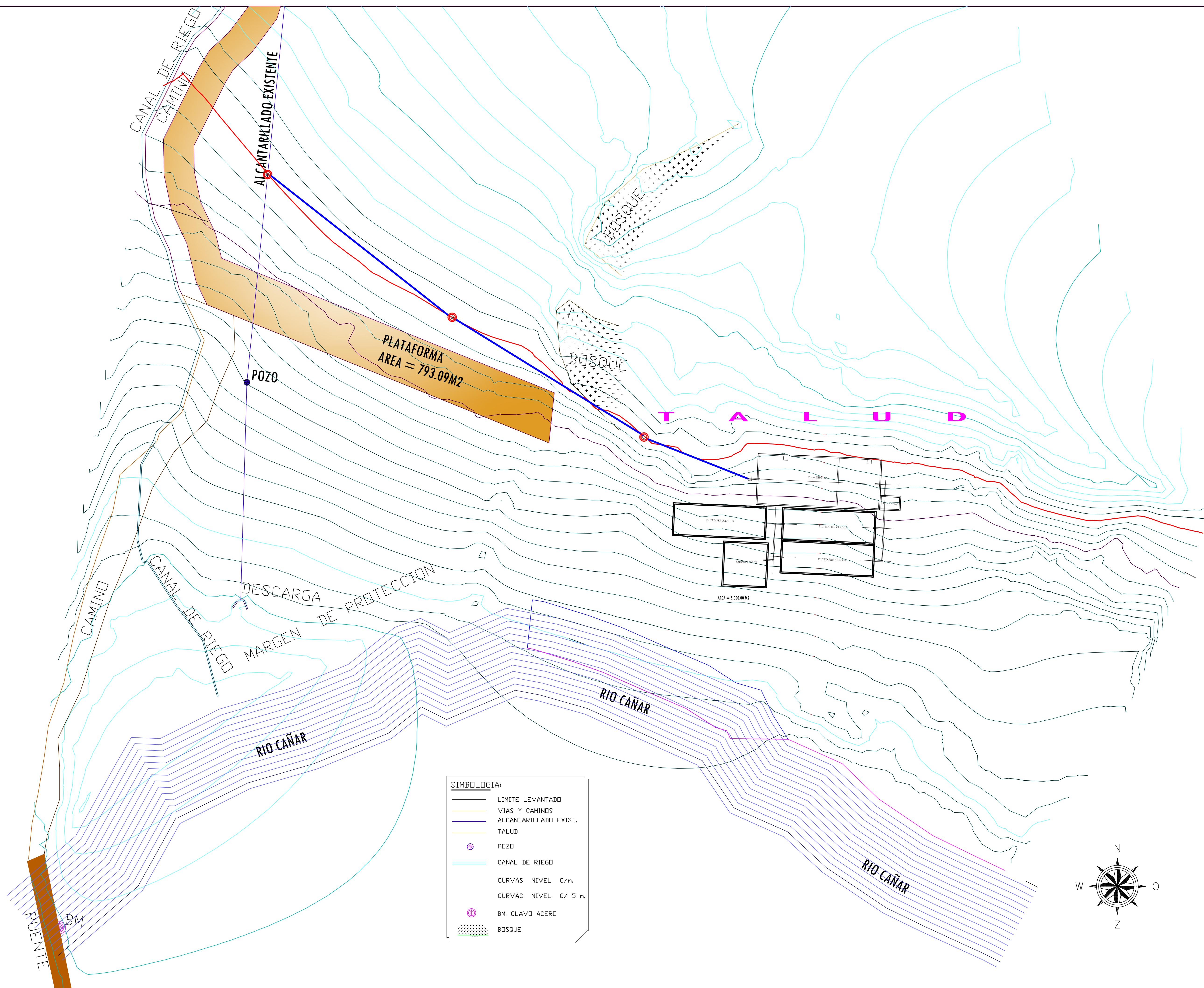


Gráfico XV: Modelación perfil B – B, nivel freático a 5 m bajo la superficie, método de Bishop



ANEXO II

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO ZONA Y PERFILES



SIMBOLOGIA:

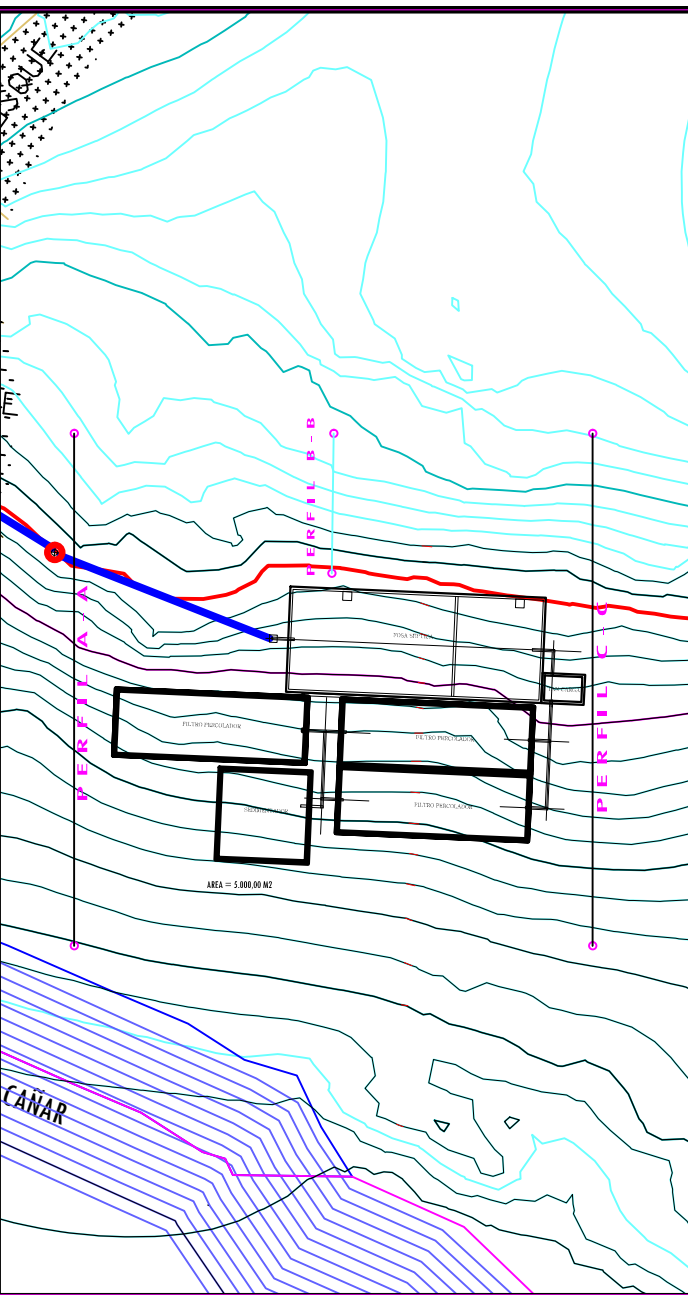
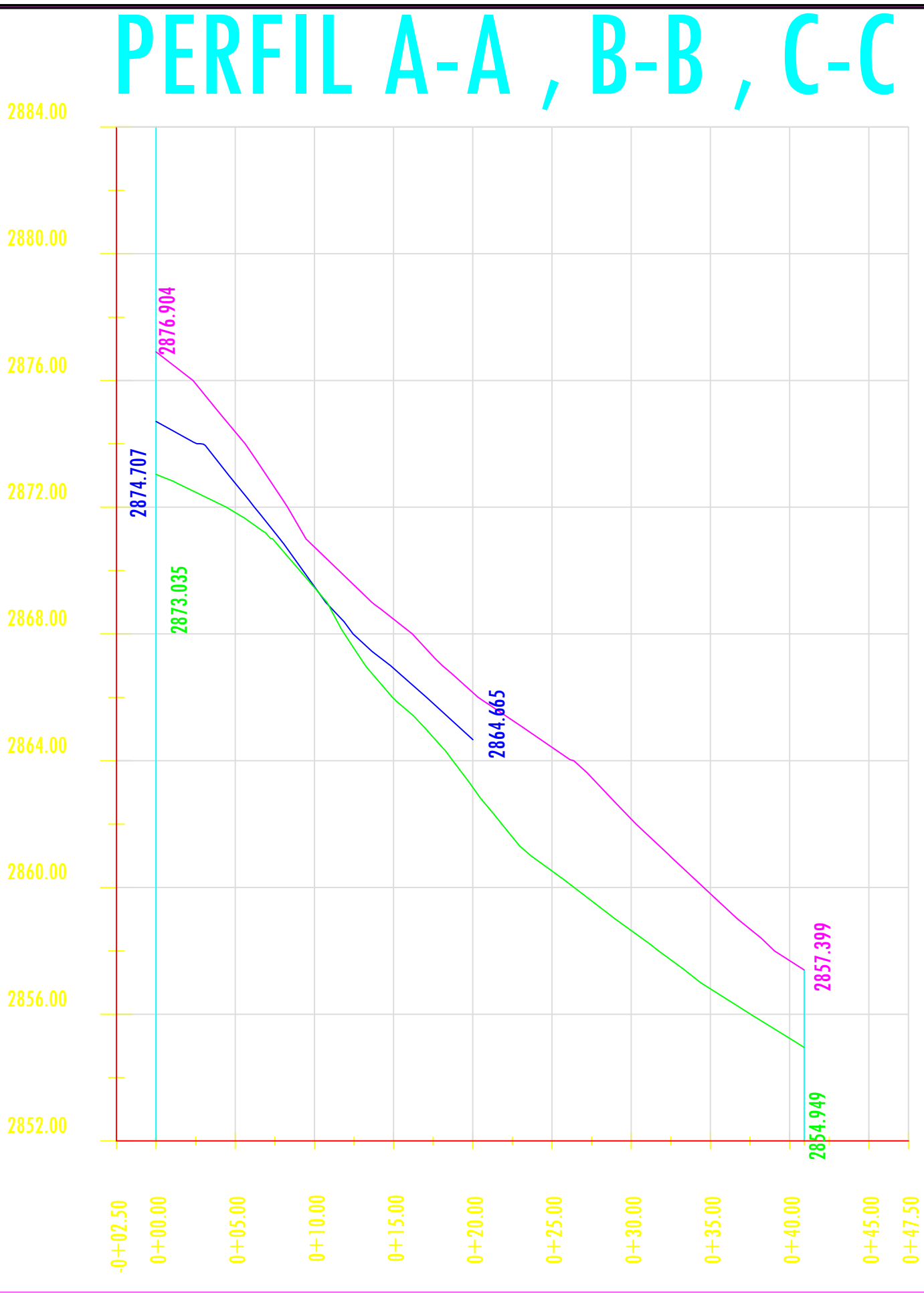
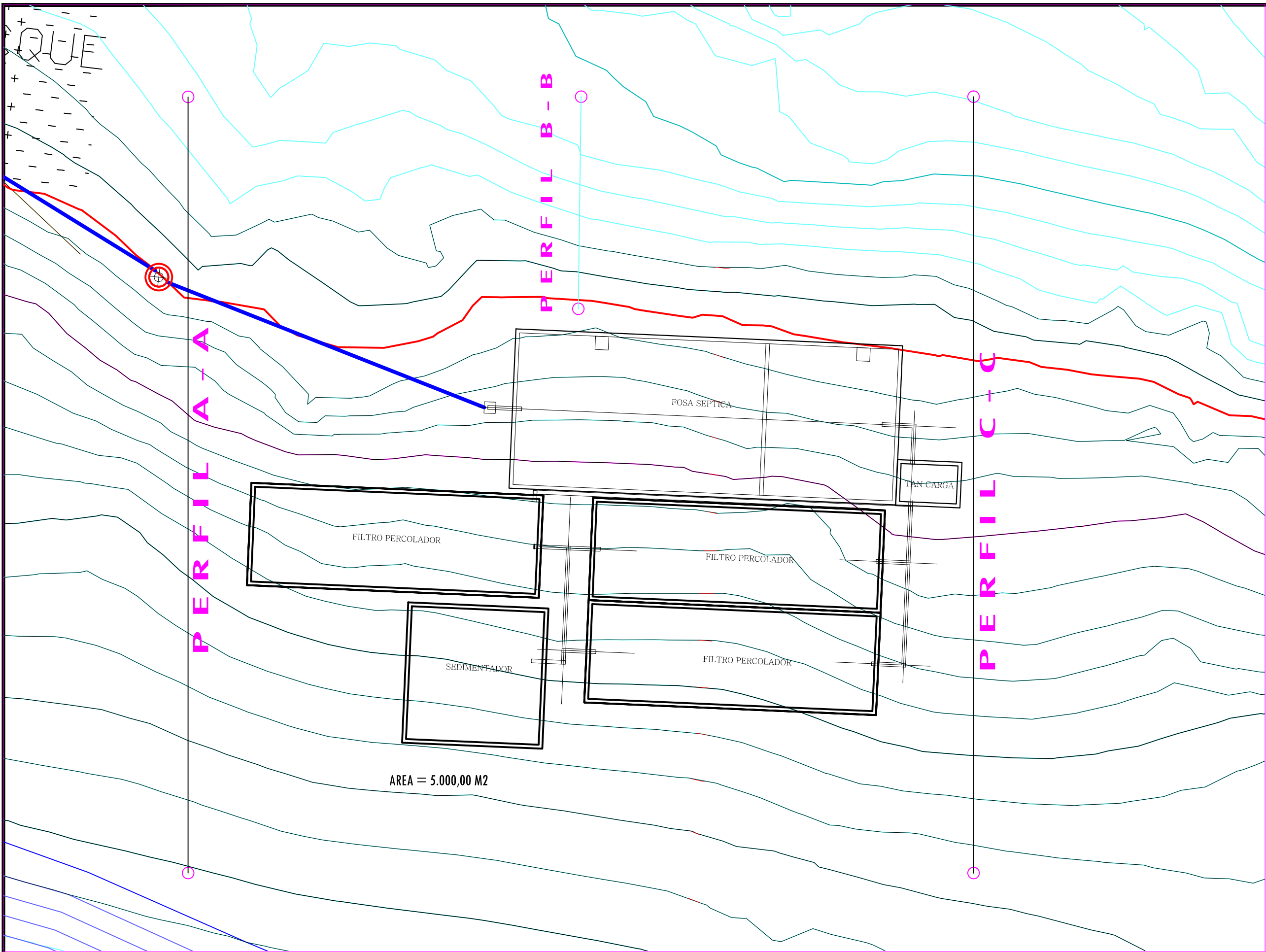


PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN EL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA ESTE, SECTOR COYOCTOR
CANTÓN EL TAMBO

DISEÑO		REVISADO	CONTENIDO:
JAIME RAMIREZ A.		ING. LUIS M. ALMACHE.	LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
1:1000	MAYO 2016	JAIME RAMIREZ A.	

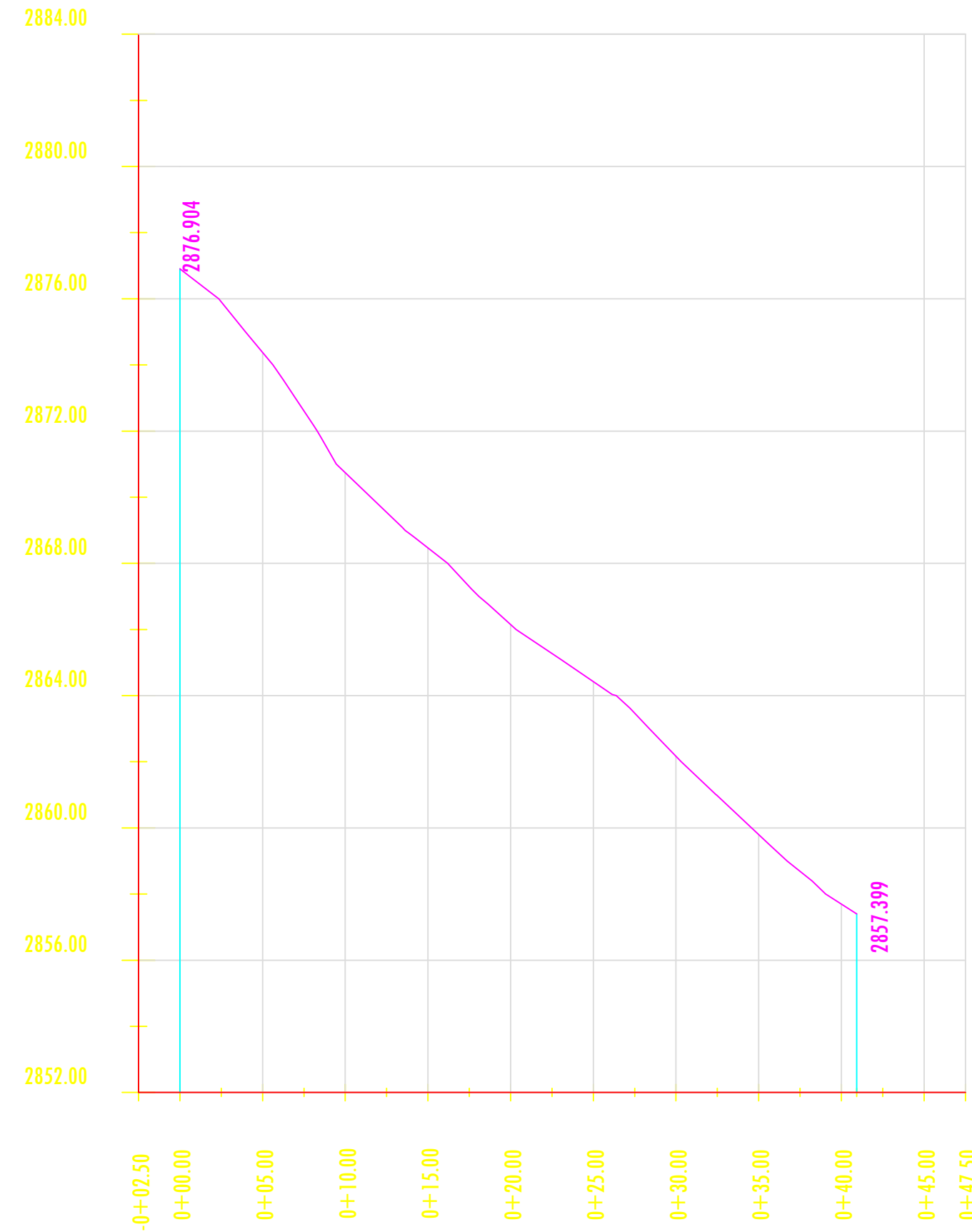
JAIME RAMIREZ A.	ESTADISTICA Y PROBABILIDAD	PLANO No. 1/2
------------------	----------------------------	---------------

--	--	--

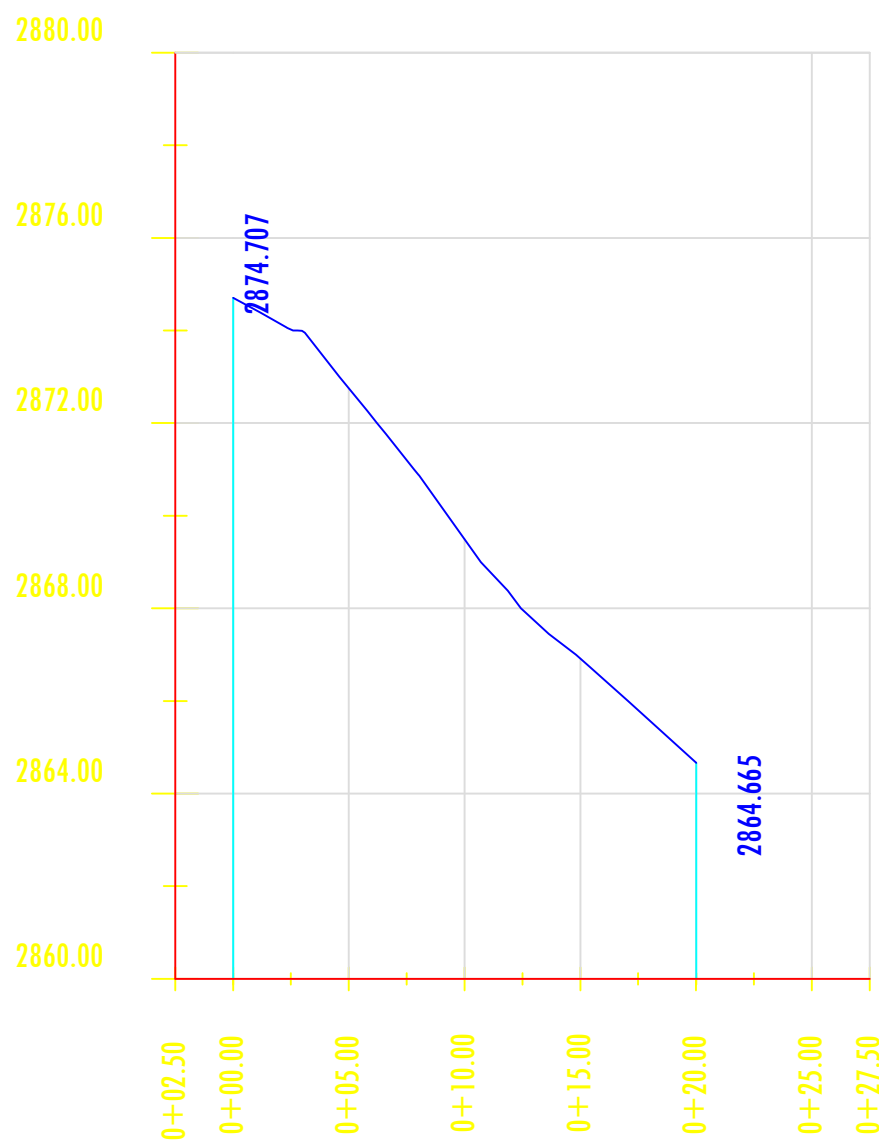


- SIMBOLOGIA:**
- LIMITE LEVANTADO
 - VIAS Y CAMINOS
 - ALCANTARILLADO EXIST.
 - TALUD
 - POZO
 - CANAL DE RIEGO
 - CURVAS NIVEL C/m.
 - CURVAS NIVEL C/ 5m.
 - BM. CLAVO ACERO
 - BOSQUE

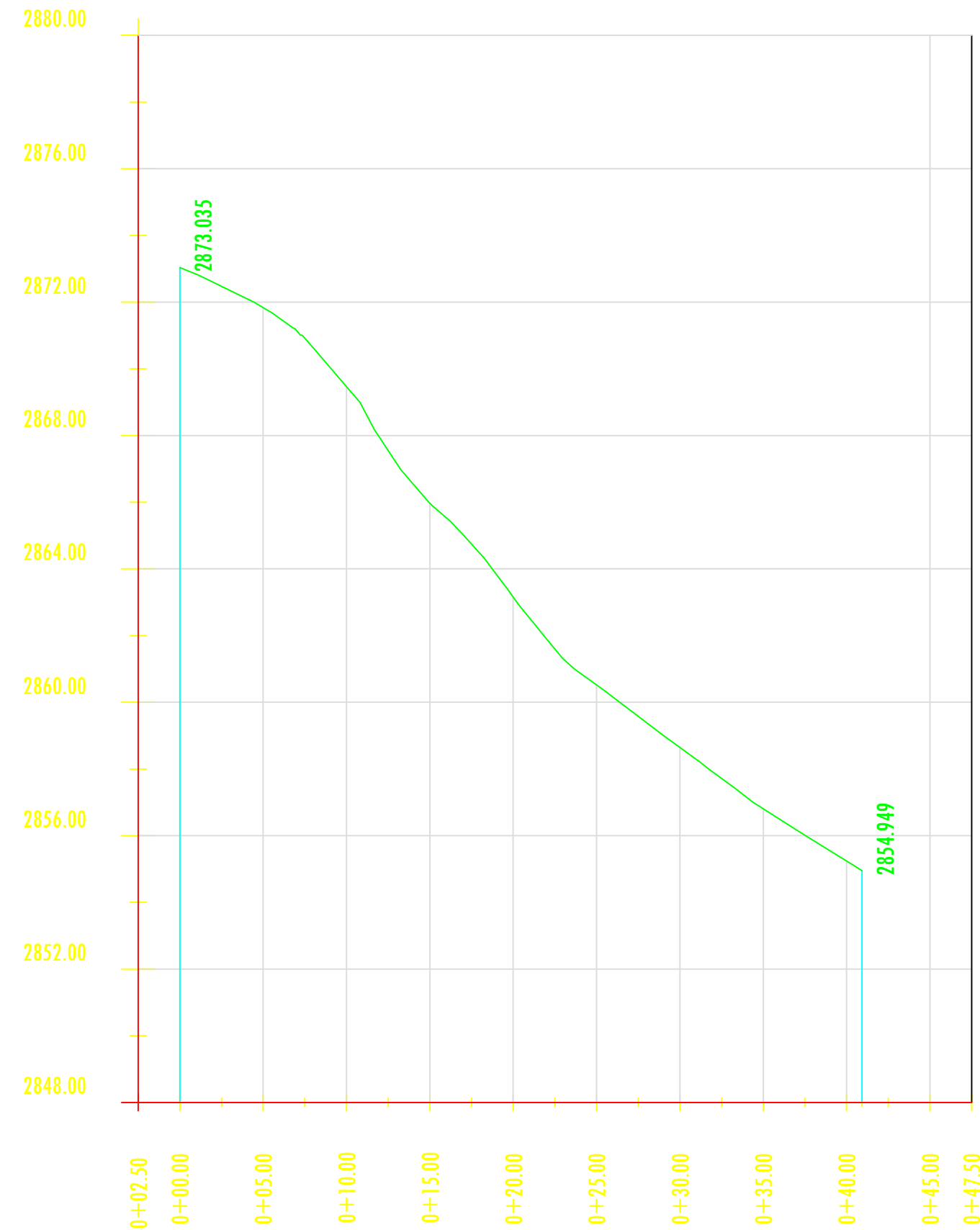
PERFIL ALINEAMIENTO A-A



PERFIL ALINEAMIENTO B-B



PERFIL ALINEAMIENTO C-C



PROYECTO: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD EN EL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ZONA ESTE, SECTOR COYOCTOR CANTÓN EL TAMBO

ELABORADO: JAMIE RAMÍREZ A.	REVISADO: ING. LUIS M. ALMAGRE	PROYECTADO: JAMIE RAMÍREZ A.
1:1000	MAYO 2016	JAMIE RAMÍREZ A.

PERFILES ASUMIDOS PARA LA MODELACIÓN DE TALUD

Página: 2/2