



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y DISEÑO

**ANÁLISIS ESTABILIDAD DE LADERA
LOCALIZADA EN LA ABSCISA 5+200 VÍA
MONAY – BAGUANCHI – PACCHA,
SECTOR SAN MIGUEL DE BAGUANCHI
DEL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA
DEL AZUAY**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

BYRON XAVIER QUEZADA SÁNCHEZ

DIRECTOR:

ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ. Mgs.

CUENCA – ECUADOR

DICIEMBRE 2015

DECLARACIÓN

Yo, Byron Xavier Quezada Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

BYRON XAVIER QUEZADA SÁNCHEZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Byron Xavier Quezada Sánchez, bajo mi supervisión.

ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ. Mgs.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico el presente Trabajo de Investigación a mis padres que son el pilar fundamental de mi vida y a mi hermano que es el apoyo incondicional y que siempre ha estado ahí en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme este momento cumplir una de mis metas, a mis padres y hermano por su apoyo, a mis compañeros y amigos q hicieron que no desista y que me llevaron cada día a tener esa motivación y ese empuje para realizar este trabajo. Gracias eternamente.

CONTENIDO GENERAL

PORTADA	
DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO GENERAL	V
ÍNDICE GENERAL	VI
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
REFERENCIAS	58
ANEXO N°1 GRÁFICOS MODELACIÓN	59
ANEXO N°2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	94

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES	1
1.1 Introducción y aspectos generales del área de estudio.....	1
1.2 Ubicación del área de estudio	1
1.3 Vías de acceso a la zona de estudio	3
1.4 Clima, suelos y vegetación de la zona.....	4
1.5 Objetivos planteados.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5.3 Metodología a utilizar.....	6
1.6 Hipótesis a solventar	6
1.7 Metodología de la investigación	7
1.8 Componentes del Proyecto.....	7
CAPÍTULO II.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, TECTÓNICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA	9
2.1 Metodología aplicada	9
2.1.1 Revisión de la información bibliográfica.....	9
2.1.2 Levantamiento de campo	9
2.2 Marco Tectónico	10
2.2.1 Tectónica del Ecuador.....	10
2.3 Tectónica de la Zona Andina.....	12
2.4 Volcanismo en la zona.....	13
2.5 Modelo de Subducción Regional	14
2.5.1 Placa de Nazca.....	14

2.5.1.1 La plataforma Galápagos	14
2.5.1.2 La Dorsal de Carnegie	14
2.5.1.3 El escape Grijalva	14
2.5.2 Fosa Ecuador	15
2.5.3 Placa Sudamericana	15
2.5.3.1 Zona Oriente	15
2.5.3.2 Zona Andina o Sierra	15
2.5.3.3 La zona Costanera o Costa	15
2.6 Geomorfología del Ecuador	15
2.7 Geología del Azuay	16
2.8 Estratigrafía local.....	18
2.8.1 Serie Paute (Jurásico).....	18
2.8.2 Formación Piñón (Cretáceo).....	19
2.8.3 Formación Yunguilla (Cretáceo Superior).....	19
2.8.4 Formación Biblian (Terciario)	19
2.8.5 Formación Loyola (Mioceno Inferior)	19
2.8.6 Formación Azogues (Mioceno Medio)	20
2.8.7 Formación Guapán (Mioceno Medio).....	20
2.8.8 Grupo Ayancay (mioceno – Plioceno).....	20
2.8.9 Formación Mangán (Mioceno)	20
2.8.10 Formación Santa Rosa (Plioceno)	21
2.8.11 Formación Turi (Pleistoceno Inferior)	21
2.8.12 Formación Tarqui (Pleistoceno Superior).....	21
2.9 Geología de la zona	21

2.10 Descripción de los afloramientos en la zona de estudio.....	21
2.10.1 Depósitos coluviales y derrumbes	21
2.10.1.1 Condiciones Geodinámicas.....	21
2.10.1.2 Condiciones Hidrogeológicas	22
2.10.2 Formación Loyola.....	22
2.10.2.1 Condiciones Geodinámicas.....	23
2.10.2.1 Condiciones Hidrogeológicas	23
2.10.2.2 Susceptibilidad a terrenos inestables	23
2.10.3 Formación Azogues	24
2.10.3.1 Condiciones Geodinámicas.....	24
2.11 Morfología de la zona	25
2.12 Condiciones Hidrogeológicas de la zona.....	25
2.12.1 Precipitaciones pluviales	26
2.12.2 Aguas superficiales.....	26
2.12.3 Corrientes subterráneas	27
2.12.4 Uso actual del suelo	27
2.13 Geología Estructural.....	28
CAPÍTULO III.- CARACTERIZACIÓN DE DESLIZAMIENTO.....	29
3.1 Descripción y clasificación de los movimientos	29
3.2 Movimientos de laderas.....	29
3.3 Tipos de movimientos	29
3.3.1 Deslizamientos.....	29
3.3.1.1 Deslizamiento Rotacional	30
3.3.1.2 Deslizamiento Traslacionales.....	30

3.3.2 Flujos	32
3.3.3 Desprendimientos.....	32
3.3.4 Avalanchas Rocosas	33
3.3.5 Reptación.....	33
3.3.6 Desplazamiento laterales.....	33
3.3.7 Caído.....	33
3.4 Causas de los diferentes tipos de movimientos	34
3.5 Velocidad de los movimientos	37
3.6 Caracterización del deslizamiento.....	37
3.7 Modelo Geológico del deslizamiento	38
3.7.1 Estado de actividad el movimiento	38
3.7.2 Movimiento adoptado para la modelación del talud	38
3.8 Análisis Geotécnico del Suelo	39
3.8.1 Metodología.....	39
3.8.1.1 Investigación Geotécnica de campo	39
3.8.1.2 Ubicación de los sondeos	40
3.8.2 Parámetros de Resistencia y deformación del suelo.	41
3.9 Característica de los suelos encontrados.....	42
3.10 Parámetros adoptados para la modelación.....	43
3.11 Movimientos de la Masa del suelo.....	43
3.11.1 Inundaciones	44
3.11.2 Riesgos Volcánicos	44
3.12 Análisis del peligro sísmico de la zona de estudio.....	44
3.13 Perfil asumido en función de la topografía.....	46

CAPÍTULO IV.- MODELIZACIÓN DEL TALUD	49
4.1 Análisis de la estabilidad de talud con plano de falla circular	49
4.2 Análisis por el Método de Equilibrio límite.....	49
4.2.1 Métodos de Bishop y Janbu	49
4.3 Software Slide (5.0)	50
4.4 Análisis por el Método Tenso – Deformacional.....	50
4.4.1 Método de elementos finitos.....	50
4.4.2 Software Phase 2.....	51
4.5 Resultados obtenidos de los dos programas.....	51
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1 Conclusiones.....	54
5.1.1 Aspectos Geológicos	54
5.1.2 Aspectos Hidrológicos	54
5.1.3 Aspectos Geotécnicos	55
5.1.4 Conclusiones generales	56
5.2 Recomendaciones de Estabilización.....	57
5.3 Futuras líneas de investigación.....	57
REFERENCIAS:.....	58

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Estado actual de la vía producto del movimiento del talud	2
Fotografía 2: Uso actual del suelo, sembríos presentes en la zona en estudio	5
Fotografía 3: Condiciones actuales de la zona y vía presente	10
Fotografía 4: Lentes de areniscas que se observan en la vía Monay – Paccha	22
Fotografía 5: Fenómeno de reptación que se produce en la zona.	23
Fotografía 6: Presencia de la Formación Azogues en la zona	24
Fotografía 7: Desfogue de corriente de agua que proviene del sub suelo de la zona	27
Fotografía 8: Bosques presentes en la zona de estudio y zonas medianamente erosionadas	28
Fotografía 9: Sondeo No.1	40
Fotografía 10: Muestra obtenida a 2.50m de profundidad	40
Fotografía 11: Sondeo No.2	41
Fotografía 12: Muestra extraída a 2.50m de profundidad	41
Fotografía 13: Zona donde se produce infiltración	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del Ecuador y mapa de ubicación de la zona en función de las parroquias rurales del Cantón Cuenca.....	2
Figura 2: Ubicación de la zona en estudio, acceso por la vía Monay - Paccha.....	3
Figura 3: Ubicación de la zona en estudio, acceso por la Ucubamba - Paccha ...	4
Figura 4: Fallas geológicas actuantes en el país.	12
Figura 5: Efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente; Zonas de Falla, Dorsales.....	13
Figura 6: Placas Tectónicas actuando frente a las Costas del Pacífico	13
Figura 7: Regiones Geológicas del Ecuador	16
Figura 8: Esquema Geomorfológico; PC Planicie Costera; CO Cordillera Occidental; VI Valle Interandino; CAL Cuenca Alamor –Lancones; CR Cordillera Real; ZSA Zona Subandina	17
Figura 9: Estratigrafía de las formaciones de la cuenca de Cuenca	18
Figura 10: Red hídrica de la Provincia de Azuay y su influencia en la zona	25
Figura 11: Esquema de un deslizamiento en suelos blandos.	30
Figura 12: Esquema de un deslizamiento rotacional típico.....	30
Figura 13: Esquema de un deslizamiento traslacional.....	31
Figura 14: Esquema de un flujo según su velocidad.	32
Figura 15: Esquema de una avalancha.....	33
Figura 16: Zonas propensas a diferentes tipos e intensidades de deslizamientos en el país.....	44
Figura 17: Mapa de Peligro Sísmico en aceleraciones g	46
Figura 18: Topografía de la zona y perfil A – A seleccionado y generado para la modelación del talud	47
Figura 19: Perfil seleccionado para la modelación del talud	48

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los deslizamientos en base a la profundidad de la superficie del deslizamiento.	31
Tabla 2: Clasificación de los deslizamientos en base a su actividad	31
Tabla 3: Factores influyentes en la inestabilidad de una ladera.	34
Tabla 4: Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y las laderas.	35
Tabla 5: Influencia de los diferentes factores en el comportamiento geomecánico de los materiales que conforman una ladera.	36
Tabla 6: Velocidades de movimiento y consecuencias.	37
Tabla 7: Coordenadas de los sondeos realizados.....	40
Tabla 8: Resultados de los ensayos realizados a las muestras extraídas.	42
Tabla 9: Parámetros obtenidos en función de las muestras extraídas y ensayos realizados a las mismas	43
Tabla 10: Mapa de zonificación sísmica.....	45
Tabla 11: Factores de seguridad encontrados en función de la modelación efectuada con los programas Slide (5.0) y Phase 2.	53

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Plano de falla circular y dovelas analizadas con el Método Bishop	61
Gráfico 2: Plano de falla circular y dovelas analizadas con el Método Janbu	62
Gráfico 3: Planos de falla encontrados en condiciones originales y factor de seguridad con el Método Bishop	63
Gráfico 4: Planos de falla encontrados en condiciones originales y factor de seguridad con el Método Janbu	64
Gráfico 5: Variación del factor de seguridad a lo largo del talud analizado con el Método Bishop	65
Gráfico 6: Variación del factor de seguridad a lo largo del talud analizado con el Método Janbu	66
Gráfico 7: Zonas de máxima Tensión – Deformación que se presentan en el talud y factor de seguridad encontrado	68
Gráfico 8: Zonas donde se produciría los desplazamientos de material por el colapso del talud	69
Gráfico 9: Análisis del talud con efecto de un sismo, Método de Bishop	71
Gráfico 10: Análisis del talud con efecto de un sismo, Método de Janbu	72
Gráfico 11: Análisis del talud con efecto de un sismo, Máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados	74
Gráfico 12: Análisis del talud con efecto de un sismo, zonas donde se produciría desplazamiento de material	75
Gráfico 13: Análisis del talud con nivel freático sobre la superficie, Método de Bishop	77
Gráfico 14: Análisis del talud con nivel freático sobre la superficie, Método de Janbu	78
Gráfico 15: Análisis con efecto del nivel freático sobre el talud, máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados	80
Gráfico 16: Análisis con efecto del nivel freático sobre el talud, zonas donde se producen los máximos desplazamientos	81
Gráfico 17: Análisis del talud con nivel freático a 5 metros de la superficie, Método de Bishop	83
Gráfico 18: Análisis del talud con nivel freático a 5 metros de la superficie, Método de Janbu	84
Gráfico 19: Análisis por efecto del nivel freático a 5 metros de la superficie, máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados	86
Gráfico 20: Análisis por efecto del nivel freático a 5 metros de la superficie, máximos zonas de desplazamiento de material	87
Gráfico 21: Análisis del talud con nivel freático a 10 metros de la superficie, Método de Bishop	89
Gráfico 22: Análisis del talud con nivel freático a 10 metros de la superficie, Método de Janbu	90
Gráfico 23: Análisis por efecto del nivel freático a 10 metros de la superficie, máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados	92
Gráfico 24: Análisis por efecto del nivel freático a 10 metros de la superficie, máximos zonas de desplazamiento de material	93

RESUMEN

La zona poblada de Paccha, y sus vías de acceso presentan varios problemas relacionados con taludes inestables que afectan tanto a la población así como a la capa de rodadura de la vía.

El presente trabajo analiza la estabilidad de la ladera localizada en la abscisa 5 + 200 de la vía Monay – Baguanchi – Paccha, cuyo movimiento está afectando a la vía que lleva el mismo nombre; contempla las diferentes causas que pueden generar el movimiento de la masa de suelo.

Se realizó una modelación por medios computacionales del talud, analizando como factor primordial desencadenante el agua. Aplicando el método de equilibrio límite **MEL** por medio de los métodos Bishop – Janbu se modeló en función de las propiedades físico – mecánicas originales del talud, se varió el nivel freático desde los 10 metros de profundidad original hasta una de las situaciones más desfavorable en la superficie del talud, esta modelación se la realizó para el plano de falla asumido en el talud de carácter circular.

Se verificó los resultados obtenidos por **MEL** a través de la modelación por el método tenso – deformacional aplicando el método de elementos finitos **MEF** por medio de la reducción del esfuerzo cortante, los resultados obtenidos entre los dos métodos fueron similares, las zonas de falla del talud en ambos métodos fueron coincidentes.

En los dos métodos se aplicó condiciones estáticas y pseudo - estáticas para el talud, el criterio de rotura aplicado para todos los casos fue el de Mohr – Coulomb.

Palabras claves:

Suelo, Talud, Nivel Freático, Ladera.

ABSTRACT

The populated area of Paccha and its access roads have several problems related to unstable slopes that affect both the population and the surface layer of the road.

This paper analyzes the stability of the slope located on the abscissa 5 + 200 road the Monay - Baguanchi - Paccha, which movement is impacting the road; and provides the different factors that could cause the movement of the soil mass.

A modeling was carried out by computational media of the slope, analyzing essential factor triggering the water. Applying the method of limit equilibrium **MEL** through the methods Bishop - Janbu model is based on the physical - mechanical properties of the original slope. The water table was varied from 10 meters depth to the original one of the worst situations in the slope surface, this is the place for shaping the fault plane taken on the slope of a circular character.

The results obtained by **MEL** through the modeling deformational – tense method was verified applying the finite element method **MEF** by reducing shear , the results between the two methods were similar , the zones of slope failure in both methods were coincident.

In both methods static and pseudo - static conditions were applied for the slope failure, the criteria of breakage applied for all cases was that of Mohr - Coulomb.

Keywords:

Soil, slope, water table, Hillside

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES

1.1 Introducción y aspectos generales del área de estudio

En todos los proyectos de ingeniería, es sumamente necesario conocer las características físicas y mecánicas de los suelos sobre los cuales se va a realizar o ya se ha realizado una obra, una vez conocidos estos, dar la solución más apropiada a los problemas presentados acorde al tipo de proyecto es de vital importancia para su ejecución y mantenimiento.

Debido a que las características Geológicas y Geotécnicas de los suelos en la región Austral son muy variables, y es muy complicado que en un suelo sobre el cual se haya levantado cualquier tipo de estructura civil, estas sean las mejores, en el caso vial, el deslizamiento de laderas genera serios problemas cuando se ha roto el equilibrio de su estabilidad.

En el presente proyecto a más de realizar un estudio de los factores desencadenantes que provocan el movimiento de una ladera, se intenta dar una solución al deslizamiento que ocurre a un costado de la vía Monay.- Baguanchi – Paccha, anillo vial intercomunicador entre comunidades del sector rural de la Provincia del Azuay.

Esta vía, actualmente se encuentra conformada por una carpeta asfáltica deteriorada a causa de la caída de material proveniente de la ladera y que a la vez han generado el colapso de cunetas llenándolas con material sedimentario. Por lo tanto, en el punto de estudio se buscará mejorar las características del suelo de ser el caso, caracterizando al tipo de deslizamiento y dando alternativas de cómo estabilizar a la unidad geológica que se tiene en esa zona.

El modelo de estabilización a utilizar varía de acuerdo al tipo de suelo, formaciones geológicas presentes en la zona, presencia de agua, grado de meteorización, entre otros factores que influyen en el momento de la caracterización de un deslizamiento.

En base a este enfoque y tomando como modelo el deslizamiento que ocurre en la vía en mención, se va a realizar el análisis de los factores que provocan un cambio del equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y las desestabilizadoras, y que pueden tener un efecto permanente (erosión, tectónica, meteorización) y los que pueden tener un efecto temporal (incrementos de la saturación, cambios del nivel freático, cambios de cargas externas, cambio en su geometría), buscando la causa de la cinemática del deslizamiento y dando una alternativa de solución posterior al análisis.

En la fotografía 1 se aprecia el estado actual de la vía por el movimiento de la masa de suelo.

1.2 Ubicación del área de estudio

Ubicado al sur – este del Ecuador en la Provincia del Azuay, Localizado en el Cantón Cuenca, identificado como parroquia Rural de dicha ciudad, se encuentra el punto conocido como Paccha, a dicho centro poblado se llega por medio del anillo vial Monay – Baguanchi – Paccha – Ucubamba.

En el sentido Paccha – Hospital del IESS, la zona de estudio se encuentra a 2,6 km desde el centro poblado, al lado derecho se observa una de las fallas existentes a lo largo de la vía, misma que ha provocado el colapso de la capa de rodadura y movimientos del terreno sobre la cual se cimentó dicha arteria vial.

En la figura 1 se observa el mapa del Ecuador, resaltando la ciudad de Cuenca y al lado derecho la zona de estudio encerrada en un círculo de color rojo



Fotografía 1: Estado actual de la vía producto del movimiento del talud
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

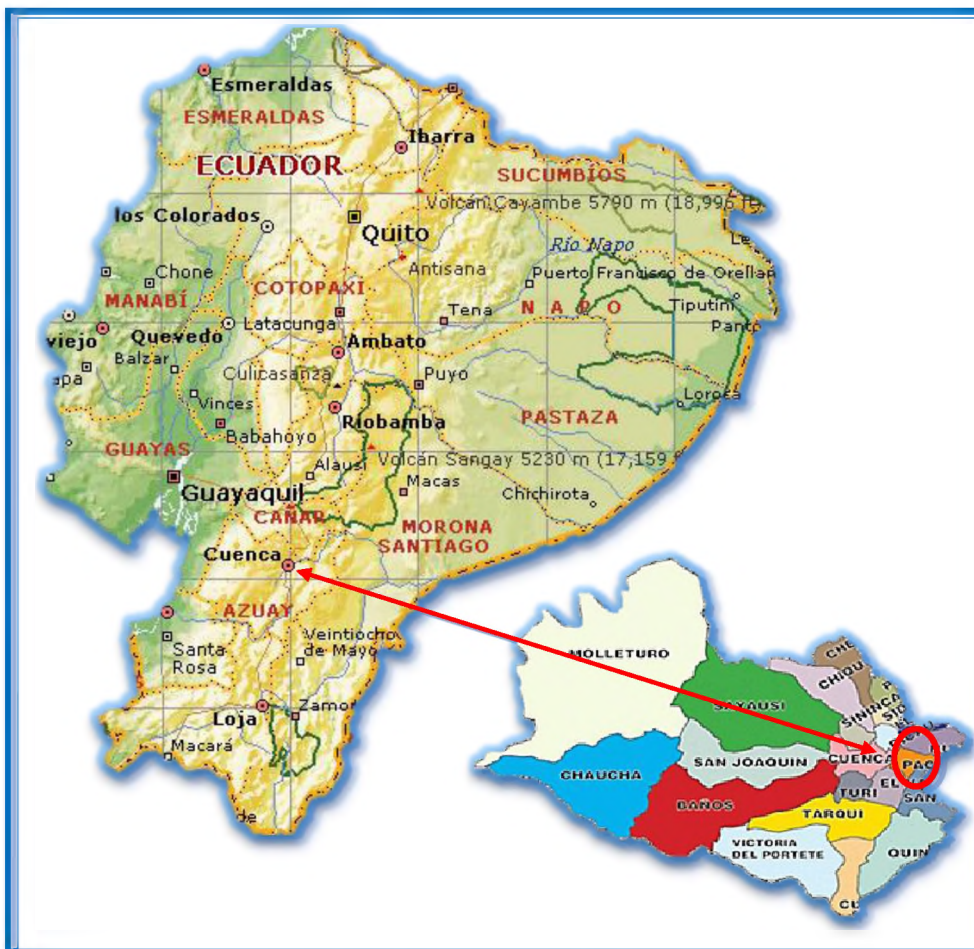


Figura 1: Mapa del Ecuador y mapa de ubicación de la zona en función de las parroquias rurales del Cantón Cuenca.
Fuente: Tomadas y modificadas para el presente trabajo del sitio: <http://www.saberia.com/mapasdelmundo/Ecuador>.

1.3 Vías de acceso a la zona de estudio

Desde la Autopista Cuenca – Azogues se tiene dos puntos de acceso a la zona de estudio:

Utilizando la autopista Cuenca – Azogues vía asfaltada de primer orden, a la altura del redondel del Hospital del IESS se encuentra el acceso a la vía Monay – Baguanchi – Paccha, cuya longitud total al centro poblado asciende a los 8,3 km. La zona de estudio se encuentra a 5,2 km de distancia tomando como abscisa 0 + 000 el redondel.

En la figura 2 se observa una imagen tomada de Google Maps en la cual se denota la vía en mención con la longitud respectiva y su inicio en el redondel del IESS en la autopista.

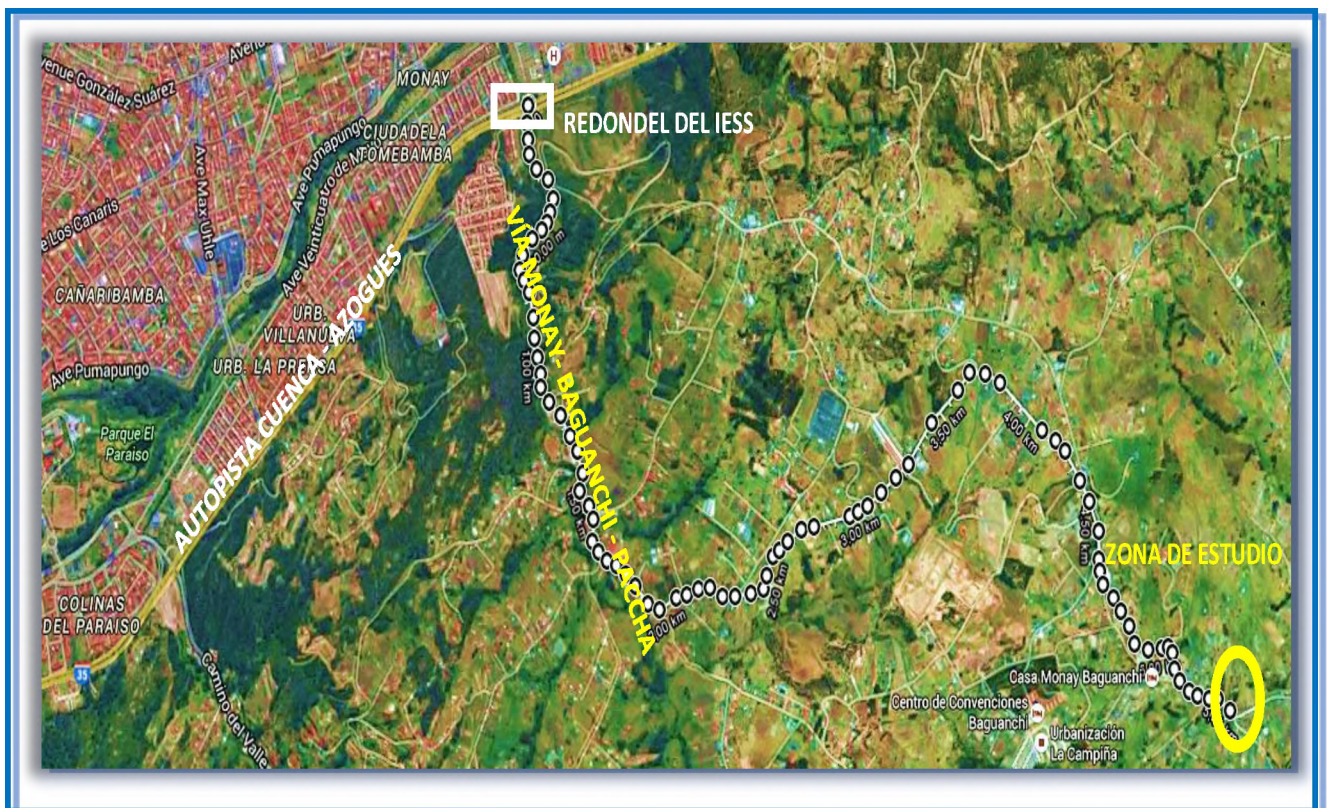


Figura 2: Ubicación de la zona en estudio, acceso por la vía Monay - Paccha
Fuente: Imagen tomada y adaptada al presente trabajo de Google Maps

Accediendo desde la Autopista sentido Cuenca – Azogues, a la altura de la entrada a Ucubamba se intercepta con un redondel de ingreso a la vía hacia Paccha, siguiendo esta ruta, la zona en estudio se encuentra a 5,6 km de distancia como lo muestra la figura 3. Al igual que la ruta anterior esta vía se presentada asfaltada en toda su longitud, presentando en ciertos tramos deslizamientos de material producto de la geología del sitio.



Figura 3: Ubicación de la zona en estudio, acceso por la Ucubamba - Paccha
Fuente: Imagen tomada y adaptada al presente trabajo de Gogle Maps

1.4 Clima, suelos y vegetación de la zona

La zona donde se desarrolla el proyecto está influenciada por el clima de la ciudad de Cuenca, goza de un clima privilegiado por ubicarse dentro de un extenso valle en medio de la columna andina con una temperatura variable entre 7 a 15 °C en invierno y 12 a 25 °C. Este clima favorece a diversos cultivos en zonas rurales. La temperatura promedio de la oscila alrededor de los de 15 °C. También debido a su ubicación la ciudad al igual que la zona en estudio puede experimentar en algunas ocasiones varios cambios de clima y de temperatura durante el transcurso del día.

En lo referente a las precipitaciones, la época de menor lluvia se da entre los meses intermedios del año, desde mayo hasta octubre, siendo los finales e iniciales los de mayor pluviosidad, puntualmente los meses de marzo y abril registran las mayores tempestades en la ciudad y la zona. Esta zona tiene una nubosidad media a lo largo del año, se registran valores de pluviosidad para esta zona entre los 850 y 900 mm/a.

En el área de influencia directa del proyecto se presentan variaciones altitudinales que van desde los 2000 m.s.n.m hasta los 2800 m.s.n.m.

La zona en estudio presenta un suelo apto para pastos y los cultivos en su mayoría, presentando en zonas pequeñas suelos erosionados que no favorecen al cultivo. En algunas zonas las pendientes propias de la morfología de la zona no favorecen al cultivo. También se observa pastoreo en la zona. Cabe recalcar que al ser una parroquia Rural del Cantón Cuenca, la zona está en un proceso de expansión urbana, siendo un punto en unos pocos años de una alta densidad poblacional. Actualmente se presentan viviendas en la zona en estudio así como a lo largo del anillo vial que pasa por el talud inestable.

En la fotografía 2 se observa uno de los usos actuales del suelo en la zona, sembríos pequeños plantados por habitantes aledaños



Fotografía 2: Uso actual del suelo, sembríos presentes en la zona en estudio
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

1.5 Objetivos planteados

Los objetivos planteados en el presente trabajo se detallan a continuación

1.5.1 Objetivo general

Analizar la estabilidad actual de la Ladera localizada en la abscisa 5 + 200 vía Monay – Baguanchi – Paccha, sector San Miguel de Baguanchi del Cantón Cuenca, Provincia del Azuay considerada como área de riesgo para la población que utiliza la mencionada vía. Posteriormente al análisis global dar una solución acorde al factor desencadenante principal que produce la inestabilidad.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar los factores que provocan un cambio de equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras tanto de efecto permanente como de efecto temporal en la Ladera de la vía Monay- Baguanchi - Paccha.
- Analizar los datos recopilados tanto Geológicos – Geotécnicos así como Hidrológicos de la zona
- Analizar en el laboratorio las muestras de suelo extraídas, encontrando los parámetros físicos – mecánicos del talud
- Caracterizar el deslizamiento
- Modelizar el deslizamiento 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.

- Recomendar una medida estabilizadora en base al factor desencadenante asumido como el de mayor incidencia para el deslizamiento.

1.5.3 Metodología a utilizar

Para cumplir con los objetivos propuestos se realizarán las siguientes actividades:

Una investigación sobre los diferentes tipos de movimientos de terreno, las causas, efectos, consecuencias y la forma de estabilizarlos, centrando el estudio en los suelos. De igual manera se revisará la información existente de la zona y un reconocimiento del campo.

En base a la información recolectada se profundizará en el movimiento presente en la zona de estudio, clasificándolo dentro de un tipo de deslizamiento y caracterizándolo.

Posteriormente se realizarán todas las pruebas de campo que sean necesarias al igual que las de laboratorio, luego de la obtención de datos se procesarán los resultados obtenidos.

Con ayuda del programa Rocscience posterior a toda la información obtenida se va a modelar el deslizamiento buscando el equilibrio del suelo. De igual manera posterior a la ubicación de las causas del deslizamiento se dará una solución práctica para su estabilización.

Finalmente con los resultados obtenidos dar recomendaciones y conclusiones.

1.6 Hipótesis a solventar

Desde un punto de vista global, las zonas más propensas a la inestabilidad son zonas montañosas, zonas de relieve con procesos erosivos, meteorizadas, laderas de valles fluviales, zonas de materiales sueltos y blandos, zonas con macizos rocosos arcillosos, esquistosos y alterables, zonas sísmicas, etc.

En la zona en estudio, la geología en el sector, está representada principalmente por depósitos sedimentarios, con presencia mayoritaria de finos, con una matriz limo - arcillosa; estos depósitos se encuentran contemplados dentro de las zonas geológicas inestables por lo cual desde el punto de vista geológico este sería el factor predominante para el movimiento.

Pero desde el punto de vista del equilibrio de fuerzas se produjo un factor desencadenante que rompió este balance produciendo el deslizamiento, por lo cual valiéndonos de programas para modelación se asume que el factor desencadenante fueron las condiciones hidrológicas que imperan en la zona, ya que el agua juega un doble papel negativo en la resistencia de los materiales:

- 1.- Al generar presiones intersticiales reduce la resistencia al corte del suelo.
- 2.- Incrementa el peso del terreno por consiguiente aumentan los esfuerzos de corte.

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 aumentarían las fuerzas estabilizadoras del terreno y por consiguiente el incremento del factor de seguridad hasta un valor acorde al requerido en el ámbito vial.

1.7 Metodología de la investigación

Para cumplir con los objetivos propuestos se realizará una recopilación de información sobre la zona de estudio planteada, datos anteriores de deslizamientos con las características del material presente, ensayos de campo, información hidrológica de la zona, reconocimiento de la masa deslizada, información climatológica y bibliográfica sobre movimientos en masas de tierra, todo esto permitirá clasificar al deslizamiento dentro de un tipo y caracterizarlo

El estudio de suelos jugará el papel más importante tanto para la modelización así como para la posible solución al movimiento, conjugando esta información con los datos de campo recopilados, y, correlacionándolos finalmente con la información obtenida del clima de la zona, permitirá verificar los factores desencadenantes probables y el asumido. De igual manera, con la información obtenida de la extracción de muestras podremos saber la estratigrafía de la zona, la superficie de falla probable (modelización), niveles freáticos críticos, geometría del deslizamiento etc., con todos estos datos y sumado al levantamiento topográfico del sector delimitado, crear un perfil del talud.

Con la ayuda de un software, posterior a toda la información obtenida se va a modelar el deslizamiento aplicando Métodos convencionales de dos autores, Bisho y Janbu, que parte del concepto de equilibrio de fuerzas desmenuzando al talud en dovelas y haciendo sumatoria de fuerzas de cada una obteniendo un valor, mismo que si es menor a la unidad nos indica un movimiento del talud. Como comprobación de los resultados obtenidos paralelo a la modelación por equilibrio límite se utilizara un software que utilice para el cálculo del Factor de Seguridad un análisis tenso – deformacional, basando sus cálculos en los elementos finitos.

Finalmente con los resultados obtenidos dar una alternativa de solución al deslizamiento, recomendaciones y conclusiones del estudio.

1.8 Componentes del Proyecto

Posterior a este primer capítulo de "Introducción", en el cual se exponen las características generales de la zona, el presente tema de investigación propone el desarrollo y alcance de los siguientes capítulos:

- ❖ En el capítulo 2: "**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTECNICAS Y TECTÓNICA DE LA ZONA**", se ha realizado un resumen de los diferentes tipos de formaciones geológicas encontradas en la zona y centrándonos principalmente en el área de interés de esta investigación. Se ha realizado una recopilación de información referente a diferentes estudios geológicos, geotécnicos (investigación de campo y laboratorio), así como a la tectónica de la zona y la región.
- ❖ En el capítulo 3: "**CARACTERIZACIÓN DEL DESLIZAMIENTO**", se ha recopilado la información existente sobre los diferentes tipos de movimientos de tierras que se pueden dar, concentrando el estudio en la que más se asemeja a la geología de la zona. Se estudian las características del movimiento, su velocidad, humedad visible, estado de la actividad, el tipo de material que tenemos en el lugar de investigación. En este capítulo para la modelación del deslizamiento se realizaron los ensayos a las muestras extraídas de la zona, analizando los resultados y validando la caracterización del deslizamiento en función de ellos.
- ❖ En el capítulo 4: "**MODELACIÓN DEL TALUD**", en esta parte del presente trabajo utilizando los datos obtenidos en el capítulo 4 y con ayuda del programa global Rocscience podremos modelar el deslizamiento, encontrando su plano de falla, buscando un equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y las desestabilizadoras

- ❖ Y, finalmente en el capítulo 5: "**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**", se realiza un análisis de todos los capítulos anteriores, identificando las causas del deslizamiento y dando recomendaciones para la estabilidad del movimiento.

CAPÍTULO II.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, TECTÓNICAS Y GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA

2.1 Metodología aplicada

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.
- Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1.000.000
- Mapa Tectónico Metalogénico del Ecuador; escala 1:1.000.000
- Mapa Geológico del Ecuador, Hoja de Azogues. Escala 1:100.000
- Geología del Ecuador, Sawyer, W.
- Geografía y Geología del Ecuador, Wolf, T.
- Geología del Ecuador, Nuñez Del Arco, E.
- 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, cartográfica, fotográfica válida existente.

2.1.2 Levantamiento de campo

Levantamiento de la información geológica y geomorfológica mediante visitas de campo, con la finalidad de confirmar los datos que se obtuvieron de la consulta bibliográfica y obtener un punto de vista particular de la situación de sitio que permita establecer claramente las relaciones geológicas y morfológicas del sector; las visitas se realizaron siguiendo los alineamientos de la vía principal.

En la fotografía 3 se observa la vía y condiciones actuales de la zona.

Durante las visitas de campo se procedió a realizar análisis de las diferentes litologías que afloran, para esto se realizó las observaciones en los taludes de los tramos existentes de la carretera que llega hasta la zona en estudio.

Se realizó dos sondeos de 6.5 m de profundidad que llegó hasta producir el rechazo a la penetración, para lo cual se utilizó equipo de perforación por percusión, el mismo que sirvió para realizar ensayos SPT a diferentes profundidades a la vez que permitió determinar la compacidad de los suelos arcillosos - limosos presentes en la zona de estudio.



Fotografía 3: Condiciones actuales de la zona y vía presente

Elaborado: Byron Quezada

Fecha: Agosto 2015

Los sondeos permitieron además la toma de muestras, que fueron sometidos a un plan predeterminado de ensayos de laboratorio estandarizados, cuyos resultados se encuentran en el presente trabajo.

2.2 Marco Tectónico

2.2.1 Tectónica del Ecuador.

El Ecuador está ubicado sobre el borde occidental costero de Sudamérica, entre Colombia y Perú, ocupando parte de un centro de dispersión oceánica activa (la zona de rift de Galápagos, entre las placas Coco y Nazca) y parte de un área de subducción activa de corteza oceánica bajo el margen continental (placa de Nazca bajo la placa Sudamérica). En esta zona tiene lugar un cambio importante desde los "Andes Centrales" (Perú), con litosfera continental en la costa, hacia los "Andes Norteños" (Ecuador), con una densa, aislada e inactiva corteza oceánica debajo de la región costera. Este cambio aparentemente ocurre en una falla transformacional o sutura, actualmente inactiva y oculta con rumbo NNE, que separa la corteza continental de la corteza oceánica. (Arco, 2003)

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

La tectónica de placas es la causante del proceso de movimiento de la placa de Nazca que con un movimiento en el sentido oeste - este penetra bajo la corteza de la placa Sudamericana creando una zona de subducción, a partir de la cual dio como resultado que emerge lo que hoy se conoce como la cordillera Occidental hace 40 a 80 millones de años y que en cuyas estribaciones se encuentra ubicado el proyecto.

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 Farallon. Wortel & Cloeting (1981) analizaron la magnitud del estado de esfuerzos de esta placa para esa época y encontraron que se produjo una rotura que originó 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 en 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 desarrollo constante del proceso de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana determina un comportamiento tectónico comprensivo del territorio ecuatoriano siguiendo la dirección de la convergencia entre la placa oceánica y continental. La más clara evidencia de este comportamiento tectónico compresivo se encuentra en la zona del frente Subandino, en las fallas inversas y en los pliegues localizados dentro del callejón interandino. (Arco, 2003)

Es preciso señalar que la llegada de la Dorsal de Carnegie a la fosa ecuatoriana podría constituir una zona de significativa resistencia a la subducción ejerciendo esfuerzos comprensivos adicionales dentro de la placa continental. Por otro lado, existen grandes rasgos estructurales transversales a la cordillera de los Andes, que afectan la fisiografía de esta región y que podrían influir en su comportamiento tectónico.

Finalmente se puede indicar que las condiciones anteriormente descritas favorecieron la generación de movimientos dextrales a lo largo de fallas regionales dentro del territorio ecuatoriano.

En la figura 4 se observa las fallas actuantes en el país, al igual que las placas generadoras.

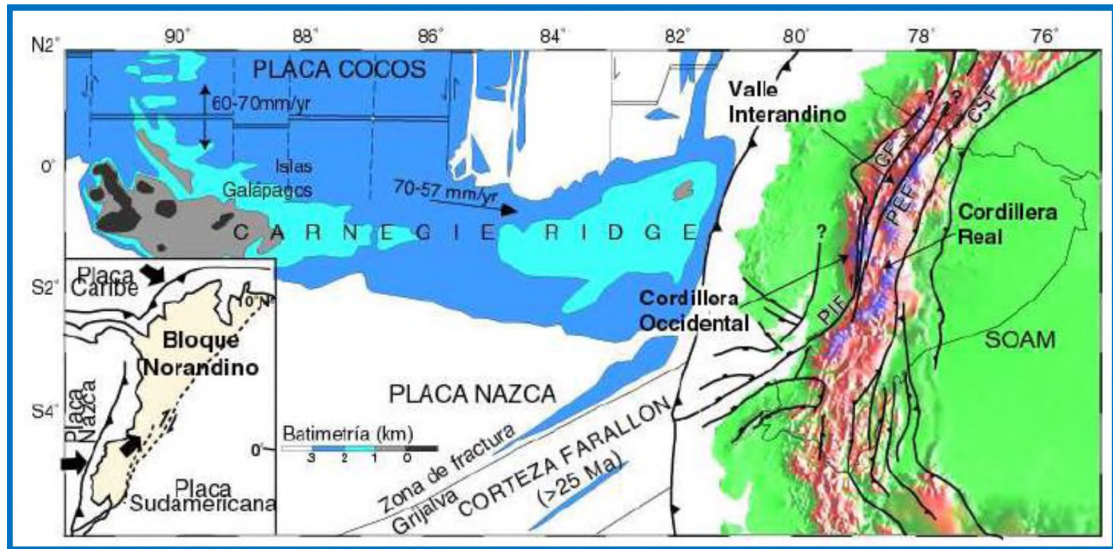


Figura 4: Fallas geológicas actuantes en el país.

Fuente: Villagómez 2003, abreviaturas: SOAM Placa Sudamericana, PIF Falla Pallatanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltec, CSF Falla Chingual-La Sofía.

2.3 Tectónica de la Zona Andina

El levantamiento y la deformación de los Andes están relacionados con la subducción de la placa de Nazca debajo del continente sudamericano. Luego la colisión y acreción de terrenos exóticos en la margen Pacífica ecuatoriana durante el Cretácico Tardío al Paleógeno (Feininger et al., 1980) tuvo lugar la reorganización de la placa Pacífica y el inicio de la subducción de la placa Nazca debajo del continente sudamericano (Fig. 5); al mismo tiempo, en los Andes meridionales del Ecuador, se producía la apertura de varias cuencas sedimentarias continentales, tales como las de Cuenca, Cañar, Girón, Nabón, Loja, Malacatos y Zumba (Lebrat et al., 1985a; Lavenu & Noblet, 1989).

La zona Andina del Ecuador (o la Sierra) consiste en dos cordilleras paralelas con rumbo Norte-Sur que están separadas entre 1°N y 3°S por el Valle Interandino. La Cordillera Real, en el Este, está compuesta por rocas metamórficas del Paleozoico y Mesozoico y la Cordillera Occidental, en el Oeste, de rocas volcánicas de Cretácico hasta el Neógeno (Arco, 2003).

En la figura 5 se observa el efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente.

Los procesos exógenos son provocados por las condiciones climáticas, meteorización física y química, erosión, sedimentación, diagénesis y ambiente de depositación; incluido dentro de estos procesos están los movimientos en masa conocidos como deslizamientos.

El basamento rocoso sobre la cual descansa la potente secuencia sedimentaria de la cuenca de Cuenca y las de su perímetro, están representadas al oeste por rocas de La Cordillera Occidental consiste terrenos alóctonos de origen oceánico que fue acrecionado sobre la placa continental Sud-americana a lo largo de la línea de sutura falla Calacalí - Pallatanga – Palenque durante el Cretácico Tardío a Terciario Temprano (Lebrat et al.; 1985. 1986; Aspden et al.; 1987^a, 1988).

En la figura 6 se aprecia un gráfico de las Placas Tectónicas actuando frente al Pacífico y sus efectos en la Corteza Terrestre.

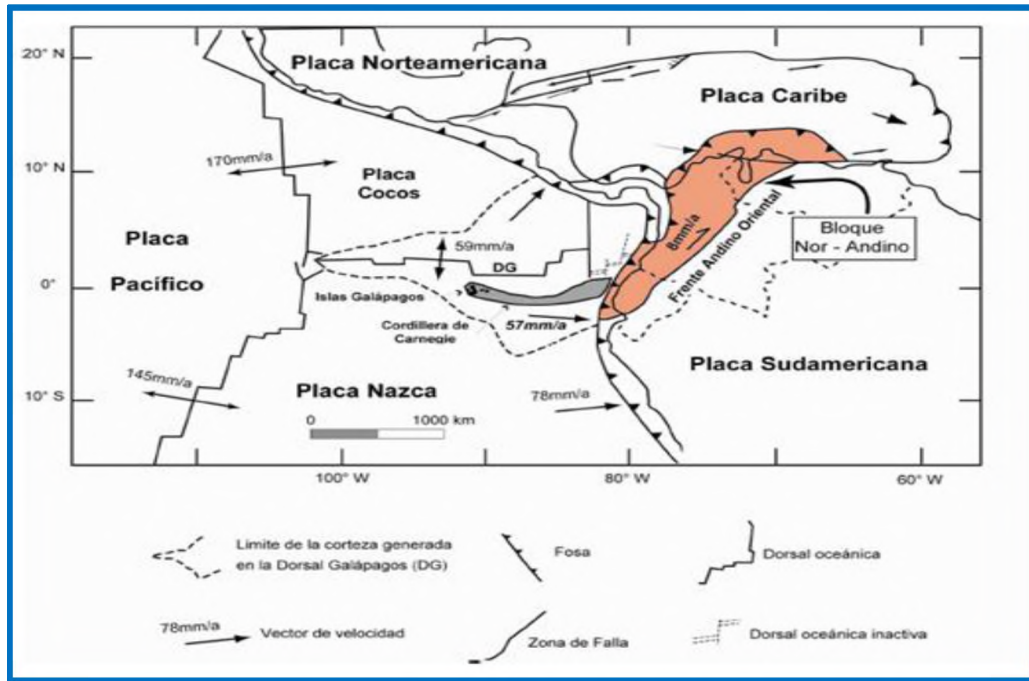


Figura 5: Efecto de Subducción de la Placa de Nazca bajo el Continente; Zonas de Falla, Dorsales.

Fuente: Villagómez 2003, abreviaturas: SOAM Placa Sudamericana, PIF Falla Pallatanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltéc, CSF Falla Chingual-La Sofía

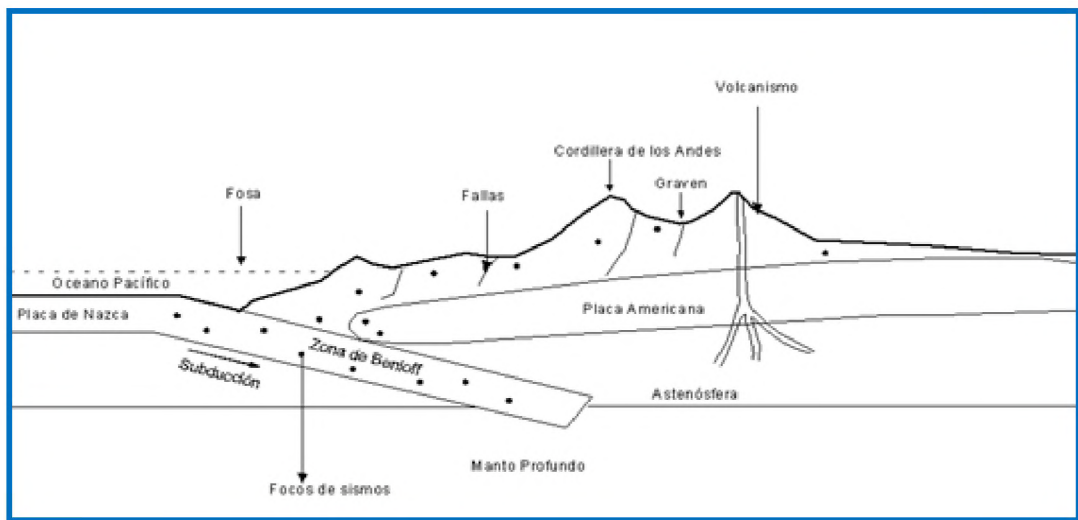


Figura 6: Placas Tectónicas actuando frente a las Costas del Pacífico

Fuente: Villagómez 2003, abreviaturas: SOAM Placa Sudamericana, PIF Falla Pallatanga, CF Falla Calacalí, PEF Falla Peltéc, CSF Falla Chingual-La Sofía

2.4 Volcanismo en la zona

Hace aproximadamente 26 a 28 millones de años (Ma) ocurrió la apertura de la placa farallón entre las placas Cocos y Nazca. Esta última generó un proceso de subducción y la formación de un nuevo arco volcánico calco alcalino cuya expresión actual son las lavas andesíticas hasta riolíticas que conforman La Formación Saraguro (CODIGEM & BGS, 1997), que se distribuyeron al Occidente de la Cordillera Real, sobre las cuencas de Yunguilla y Quingeo, en la parte meridional de la Cordillera de Los Andes.

El cese de la actividad volcánica en los Andes meridionales, posiblemente fue ocasionado por la disminución del ángulo de subducción a causa del arribo de la Cordillera de Carnegie hace 8 Ma (Pilger, 1984) o 2 Ma (Egüez & Aspden, 1993), lo que ha impedido el desarrollo de un volcanismo cuaternario que por el contrario es persistente en Los Andes septentrionales.

La zona de estudio presenta una actividad volcánica despreciable al no existir riesgos directos asociados a este factor.

2.5 Modelo de Subducción Regional

Los factores y características geométricas más importantes del proceso de subducción que influyen directamente en su comportamiento, frente a las costas del Ecuador se detallan a continuación:

2.5.1 Placa de Nazca

La placa de Nazca limita al Norte con el Centro de Expansión Galápagos, hacia el Nororiente, limita con la placa Caribe por debajo de Colombia Septentrional; al Oriente, se extiende hasta las fosas Oceánicas de Colombia, Ecuador, Perú y Chile; al Sur Suroccidente, limita con las fallas transformacionales Chile Fernández, y al Occidente, con la dorsal Pacífico. La configuración geométrica de la placa de Nazca, próxima a la costa ecuatoriana presenta lo siguientes accidentes geográficos:

2.5.1.1 La plataforma Galápagos

Está compuesta por la corteza oceánica juvenil formada en el centro de expansión Galápagos luego del fracturamiento de la placa Farallón hace 27 Ma (Lonsdale, 1978). Tiene la forma de una cuña con un relieve más alto que las zonas circundantes y con su vértice ubicado cerca del punto triple Nazca-Pacífico-Cocos. Limita al Sur, con el Escarpe Grijalva de orientación NE y al Norte, con la placa de Cocos (Hey, 1977).

2.5.1.2 La Dorsal de Carnegie

Se originó debido al movimiento de la placa Nazca sobre un punto caliente localizado ligeramente al sur del centro de expansión Nazca-Cocos, generándose una importante actividad volcánica que actualmente se evidencia en las Islas Galápagos. Presenta una predominante orientación EW y está limitada al Norte y Sur por grandes fallas normales con saltos verticales de 200 a 500m (Lonsdale, 1978).

2.5.1.3 El escape Grijalva

Constituye el límite sur de la plataforma Galápagos, tiene una dirección SW-NE e interpreta oblicuamente a la fosa cerca al 3°S y 82W.

2.5.2 Fosa Ecuador

Se ubica frente a las costas ecuatorianas con una orientación NE-SW y marca el inicio del proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La profundidad de la fosa frente al Ecuador es menor que las que presentan los segmentos correspondientes a Perú y Chile. Esto se explica por el suministro de sedimentos que favorecen los principales ríos de la cuenca del Pacífico, disminuyendo de este modo su profundidad (4 km en el Golfo de Guayaquil); y por la llegada a la zona de subducción de la Dorsal de Carnegie, determinando que la parte más somera que encuentre frente a las costas de Manabí (Lonsdale, 1978).

2.5.3 Placa Sudamericana

El proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana modifica constantemente la superficie terrestre a través del tiempo y ha originado un progresivo engrosamiento de la corteza terrestre y plegamiento de los sedimentos. La evolución tectónica del Ecuador está vinculada a un proceso de deformación que ha generado importantes sistemas de fallas en la superficie de la ecuatoriana se deben al proceso de subducción de placas. Geográficamente, en la placa Sudamericana del Ecuador predominan los Andes que dividen la parte continental en tres regiones naturales, muy distintas y que no son simple expresiones geomorfológicas sino que también reflejan fundamentalmente ambientes geológicos diferentes. Estas regiones son las siguientes:

2.5.3.1 Zona Oriente

Es una zona baja y se encuentra hacia el Este, incluyendo tanto la inmensa región plana cubierta de jungla que forma parte de la cuenca Amazónica Superior como la zona Subandina que está caracterizada por empinadas montañas de espesa vegetación.

2.5.3.2 Zona Andina o Sierra

Se divide en cordillera Oriental o Real y cordillera Occidental por el Callejón Interandino y otras cuencas intermontañas discontinuas.

2.5.3.3 La zona Costanera o Costa

Incluye varas cordilleras pequeñas hacia el Pacífico, así como la extensa, baja e interna región de la cuenca del Guayas al oeste de los Andes.

2.6 Geomorfología del Ecuador

En el libro "Geología del Ecuador", (Arco, 2003), manifiesta que el Ecuador por su ubicación al nor - occidente de Sur América, 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.

En la figura 7 se observa las Regiones Geológicas del Ecuador, en la figura 8 el esquema Geomorfológico del Ecuador, en la figura 9 un mapa Geológico Regional en donde se señalan los sistemas de fallas existentes.

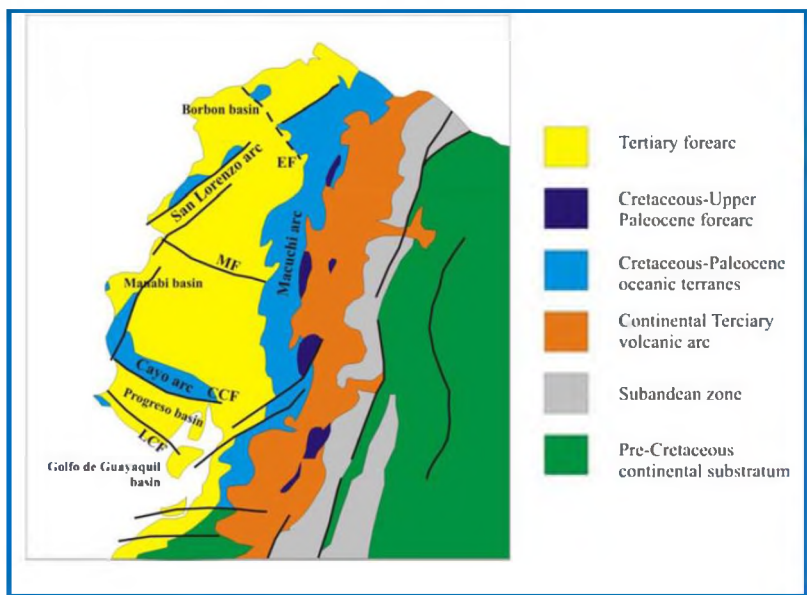


Figura 7: Regiones Geológicas del Ecuador
Fuente: Geología del Ecuador (Arco,2003)

2.7 Geología del Azuay

La cuenca sedimentaria de Azuay, localizada en el Austro del país, es una depresión interandina, que presenta aproximadamente 100 km en su longitud, en sentido norte – sur, por unos 25 km a lo ancho en el sentido este – oeste.

Esta principalmente rellena de sedimentos detríticos continentales del Terciario Superior e intercalaciones volcánicas emplazadas sobre rocas cretáceas y aún más antiguas que sirven de basamento.

En el año 1823 Alexander Humboldt visitó la cuenca sedimentaria de Azuay y Cañar, realizando diversos comentarios a las formaciones encontradas, llamando principalmente a las formaciones presentes en Biblián y Santa Rosa como "Areniscas Rojizas". Posteriormente Teodoro Wolf en 1982 usó el nombre de "areniscas del Río Azogues" a la descripción estratigráfica de Humboldt, identificando dos divisiones: una superior más arcillosa "Arcillas Pizarrosas" y otra inferior más arenosa "Areniscas". En su reconocimiento acotó que la unidad superior incluía una secuencia de formaciones que iban, desde la formación Guapán hasta la formación Santa Rosa; y, una inferior, desde la formación Biblián hasta la formación Azogues, posteriormente Sheppard en 1934 dividió en tres unidades a las "Areniscas del Río Azogues" y bautizó como "Grupo Azogues" a las unidades: Areniscas de Azogues, Lutitas Blancas de Cuenca y Conglomerados de Biblián.

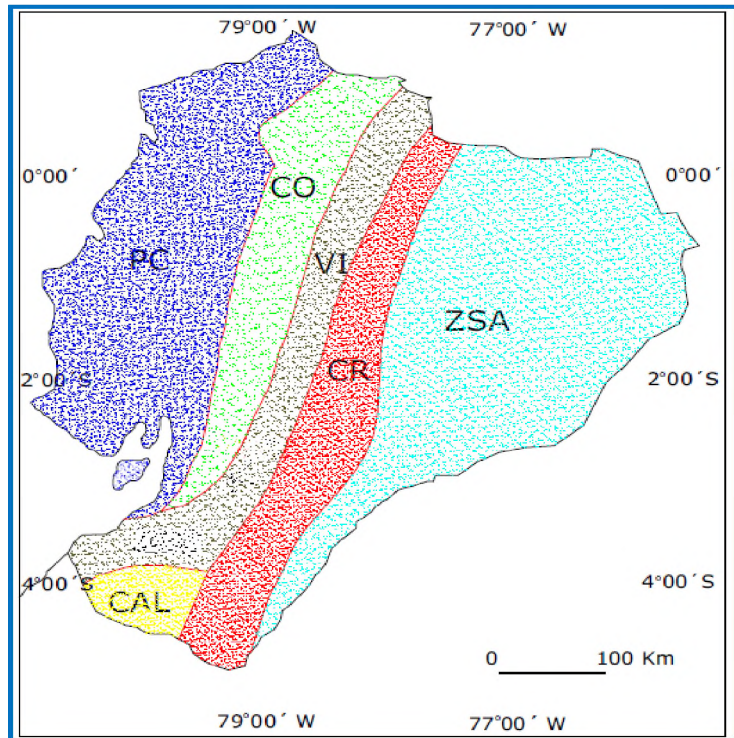


Figura 8: Esquema Geomorfológico; PC Planicie Costera; CO Cordillera Occidental; VI Valle Interandino; CAL Cuenca Alamor-Lancones; CR Cordillera Real; ZSA Zona Subandina
Fuente: Geología del Ecuador (Arco,2003)

El Proyecto Minero de las Naciones Unidas en 1969, identificó que los conglomerados emplazados en la cima de la formación Biblián correspondían a los conglomerados basales de la formación Loyola.

En el año de 1945 el Ing. Marco Tulio Erazo dividió a las Areniscas de Azogues en la unidad superior conocida como Guapán, esta formación se encuentra por debajo del grupo Ayancay. De igual manera el Ing. Erazo por primera ocasión reconoce a la formación Yunguilla del cretáceo, así como a la formación Turi del cuaternario.

La denominación de las formaciones Guapán, Cushumaute, Mangán y Santa Rosa fue introducida en 1965 por el Proyecto Minero de las Naciones Unidas, denominándoles como grupo Ayancay a las tres últimas formaciones. De igual manera el término "formación Loyola", fue utilizado por el Proyecto Minero para representar a la unidad inferior del grupo Azogues, conocido también como "Lutitas Blancas de Cuenca". En 1968 denominó como "Serie Paute" a afloramientos cretácicos así como rocas metamórficas que ocurren en el valle del río Paute. Y, en el año 1988, Noblet, manifestó que el basamento de la cuenca de Azuay y Cañar, consiste en rocas mesozoicas (formaciones Celica, Paute y Yunguilla); y, cenozoicas (formación Saraguro). (Arco, 2003)

En la figura 9 se observa la estratigrafía de las formaciones de la cuenca de Cuenca

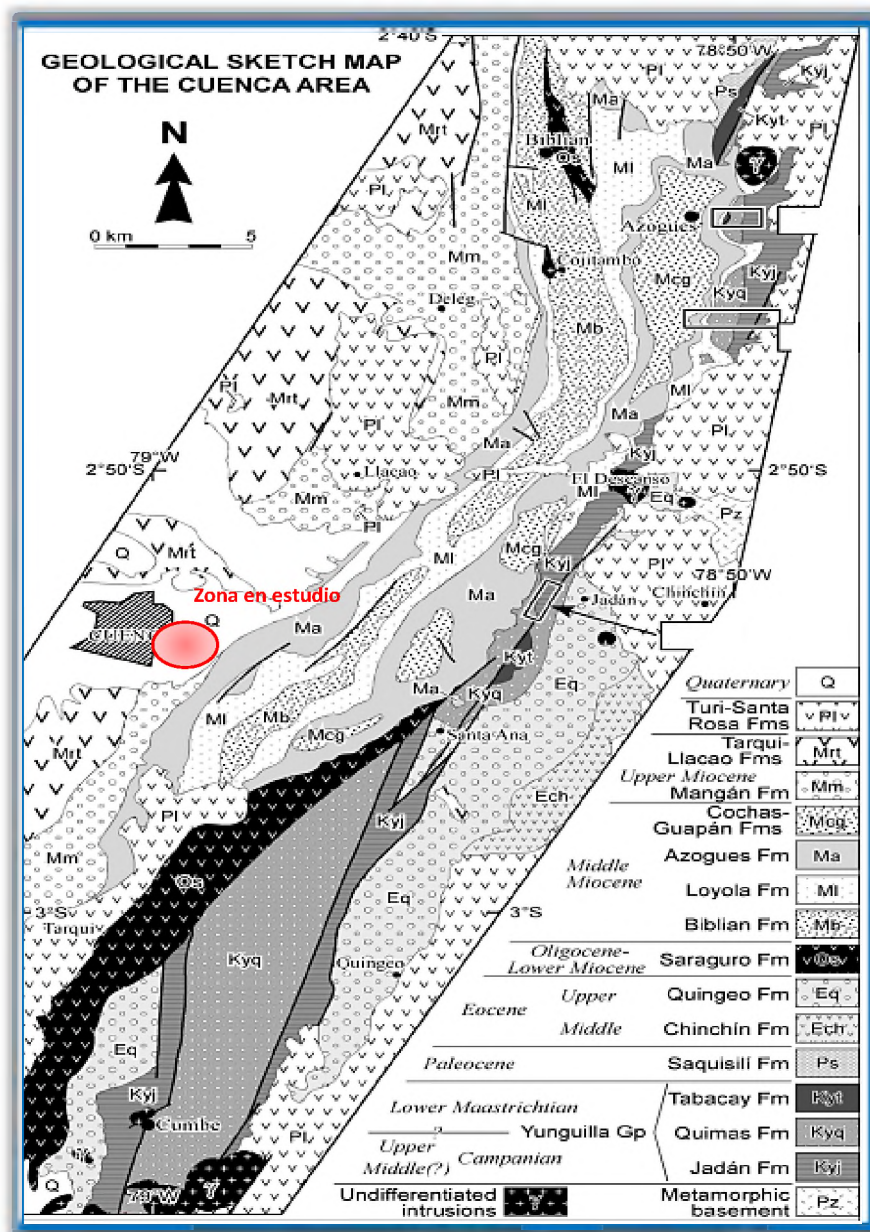


Figura 9: Estratigrafía de las formaciones de la cuenca de Cuenca
Fuente: Tomado y adaptado al presente trabajo de Steinmann M. & Hungerbühler D., 1996.

2.8 Estratigrafía local

2.8.1 Serie Paute (Jurásico)

Uno de los flancos de la cordillera Real, presenta en el sentido norte – sur, y a lo largo de todo el territorio Ecuatoriano, un cinturón de rocas metamórficas, atribuido entre otras a la denominada Serie Paute, posiblemente de edad Jurásico o Cretáceo Inferior; su presencia en las provincias de Azuay y Cañar, se observa en el flanco este de la cuenca sedimentaria.

La serie Paute está integrada por dos unidades estratigráficas: La unidad superior, que constituyen los "Metavolcánicos San Francisco" y la unidad inferior, representada por la unidad "Esquistos El Pan".

Los Metavolcánicos San Francisco, con presencia notoria a lo largo del río Paute al igual que en la zona en estudio, están constituidos por andesitas que han sufrido un proceso metamórfico en varios grados, siendo común las filitas, esquistos micáceos y aglomerados. Los Esquistos El Pan, constituyen básicamente: esquistos verdes, esquistos cuarcíticos y grafiticos, y algunas intrusiones granodioríticas.

Autores como Bristow manifiestan que existen intercalaciones de la unidad superior de la serie Paute, que podría tratarse de los volcánicos pertenecientes a la formación Piñón metamorfoseada (unidad San Francisco), con la formación cretácea superior, Yunguilla, que sobreyace la primera.

La edad de la serie Paute no está definida claramente, pero se interpreta que puede ser Jurásica o Cretácica, (Arco, 2003).

2.8.2 Formación Piñón (Cretáceo)

Rocas volcánicas de carácter andesítico, de color verdoso, que afloran extensamente en los flancos de la cordillera Occidental, son atribuibles a esta unidad. En el flanco occidental de la cuenca Azuay – Cañar, se presenta un afloramiento relativamente pequeño de esta unidad, que se relacionaría con las rocas volcánicas metamorfoseada del flanco oriental, correspondientes a los Metavolcánicos de San Francisco.

Litológicamente a la formación Piñón en la cuenca Azuay – Cañar, se presentan como horizontes masivos, homogéneos, de lavas andesíticas, de algunos metros de potencia.

2.8.3 Formación Yunguilla (Cretáceo Superior)

Aflora a más de 80 km en el sentido Norte – Sur, a lo largo del flanco oriental de la cuenca Azuay – Cañar, desde Cumbe (sur) hasta la ciudad del Cañar (norte).

La litología dominante de esta formación está caracterizada por argillitas de color gris oscuro o negras estratificadas, que tienen a transformarse en Lutitas negras; estas Lutitas ocasionalmente presentan mica pequeña y ocasionalmente Pirita. En la secuencia se evidencia carbonato de calcio y de magnesio lo que provocan calizas oscuras de grano fino, y, en el sector de Cañar esta formación presenta secuencias interestratificadas de limolitas, lutitas y areniscas. (Arco, 2003)

2.8.4 Formación Biblian (Terciario)

Se presenta en una longitud de aproximadamente 40 km, desde el NNE en Biblián hacia SSW en Cuenca (El Valle), esta formación descansa sobre la Yunguilla.

Litológicamente esta formación presenta en el sector de santa Ana (Cuenca) horizontes de conglomerados, con clastos gruesos. En Jadán la secuencia es similar y dominante, mientras que en Azogues – Biblian aparece con una litología arcillosa con intercalaciones de delgadas unidades de clásticos gruesos.

Por lo general las areniscas y conglomerados de esta formación presentan una tonalidad café clara. (Arco, 2003)

2.8.5 Formación Loyola (Mioceno Inferior)

Se extiende desde el norte del poblado de Biblián, donde aparece en contacto fallado con la formación Mangán, hacia el sur y suroeste de la ciudad de Cuenca, donde aparece debajo de la formación Turí. Esta formación por su similitud litológica puede confundirse con la formación Guapán.

Litológicamente está conformada por lutitas de color gris oscuro y lutitas limolíticas cubiertas de polvo limolítico color crema amarillenta. Localmente ocurren lentes de calizas junto con capas de areniscas finas. Abundante yeso (selenita) satura pequeñas fracturas presentes en la roca meteorizada.

La base de esta formación presenta una serie de areniscas y conglomerados bien desarrollados, que en ciertos lugares aparecen sobre la formación Biblián y en otros reposan sobre la formación Yunguilla. Los clastos que componen algunos horizontes conglomeráticos de esta formación consisten básicamente en tobas, cuarcitas, cuarzo y fragmentos de la formación Yunguilla. La potencia de esta unidad es aproximadamente 360 metros. Siendo esta formación la base del movimiento de la zona de estudio. (Arco, 2003)

2.8.6 Formación Azogues (Mioceno Medio)

Se extiende en sentido norte – sur desde Azogues hasta el sector el Valle en la ciudad de Cuenca, cubierta de manera irregular por la formación Turi.

El contacto con la Formación Loyola que sirve de base es interdigitado entre los 10 a 20 metros.

Constituida por areniscas tobáceas intemperizadas, de color café, grano entre medio a grueso, presenta capas de limolitas, arcillas y lutitas, generalmente no mayores a un metros de potencia.

Los cantos del conglomerado son bien redondeados de 1 a 10 centímetros de diámetro, consistiendo mayoritariamente fragmentos de rocas ígneas, así como fragmentos de cuarzo y lutitas, proveniente de la formación Yunguilla. (Arco, 2003)

2.8.7 Formación Guapán (Mioceno Medio)

Por su similitud litológica se la confunde con la formación Loyola, ya que está integrada por lutitas finamente laminadas, de color café oscuro a negro, recubiertas con polvo de limonita de color amarillo, producto de la meteorización. (Arco, 2003)

2.8.8 Grupo Ayancay (mioceno – Plioceno)

Comprende los sedimentos terciarios más jóvenes de la cuenca sedimentaria Azuay – Cañar. En 1969 el Proyecto Minero de las Naciones Unidas, denominó "Serie Ayancay" a tres grupos de formaciones: Ayancay inferior o Cushumaute, Ayancay Medio o Mangán y Ayancay Superior o Santa Rosa. (Arco, 2003).

2.8.9 Formación Mangán (Mioceno)

Ocurre desde Ingapirca en el norte, hasta Cuenca donde desaparece debajo de la formación Turi, reapareciendo en Girón. (Arco, 2003)

Dividida en Mangán Inferior, Medio y Superior, litológicamente compuesta de estratos de limolitas, lutitas, arcillas y areniscas finas, en la formación Media resaltan Bentonitas y en la Superior areniscas tobáceas gruesas de color café. (Arco, 2003)

2.8.10 Formación Santa Rosa (Plioceno)

Se localiza principalmente en el poblado de Santa Rosa a 13 km de Cuenca sentido N – O, consiste en estratos de areniscas conglomeráticas y conglomerados alternados con lutitas rojas limolíticas y arcillosas. (Arco, 2003)

2.8.11 Formación Turi (Pleistoceno Inferior)

Su nombre lo toma del poblado de Turi a 3 km de Cuenca, la parte inferior de esta unidad es un conglomerado basal desarrollado, hacia arriba se presentan horizontes de conglomerados alternantes con tobas, cenizas y brechas volcánicas, intercaladas con arcillas y areniscas fluviales, y en su parte central predominan limos, limolitas blancas y habanas. (Arco, 2003)

2.8.12 Formación Tarqui (Pleistoceno Superior)

Se localiza principalmente en el poblado de Tarqui y se extiende hasta el sur de Cuenca. Compuesta principalmente de piroclastos, consiste también de tobas y aglomerados riolíticos o andesíticos. (Arco, 2003)

2.9 Geología de la zona

Uno de los objetivos de este estudio es la definición de la línea base geológica del área donde se provoca el movimiento de masas; tanto de las observaciones de campo como de la investigación bibliográfica realizadas se desprende que el sitio en estudio, se encuentra asentado sobre afloramientos de la Formación Loyola, evidenciándose también en ciertas zonas presencia de la Formación Azogues y mayoritariamente depósitos coluviales.

2.10 Descripción de los afloramientos en la zona de estudio

La definición de la línea base geológica tiene por objetivo el reconocimiento y caracterización de las formaciones que afloran en el área de estudio, que permita la visión y localización del medio físico (geológico-geomorfológico), así como potenciales amenazas de origen natural (sísmicas, movimientos de masas, volcánicos, climáticos-antropogénicos) a través del reconocimiento, levantamiento de información y comprobación de campo geológico de la zona estudiada.

2.10.1 Depósitos coluviales y derrumbes

Se presentan como depósitos de ladera y de pie de talud, con materiales que han sido transportados por diferentes agentes en longitudes muy cortas, estos materiales dependen de la zona y del fenómeno inestable que los origina: deslizamientos, reptaciones, derrumbes, compuestos de mezclas heterogéneas de bloques y fragmentos angulares a sub angulares con una matriz limo arcillosa. (Vélez, 2012)

A continuación se describe el comportamiento geotécnico de estos depósitos:

2.10.1.1 Condiciones Geodinámicas

A pesar de la antigüedad y compacidad que pueden presentar estos depósitos ante la presencia de una escorrentía facilitan la erosión y drenajes en forma de V, al igual que reactivaciones en el

terreno. Los depósitos más jóvenes son muy inestables cuando no se tiene un sistema de drenaje adecuado, son susceptibles a la erosión por el agua, provocan deslizamientos y flujos (Vélez, 2012).

2.10.1.2 Condiciones Hidrogeológicas

En los depósitos que presentan mayor antigüedad la permeabilidad está en función de la compacidad del suelo, presentándose permeabilidades de media a baja, no así en los depósitos recientes que presentan este parámetro entre media a alta. Los niveles freáticos se pueden presentar profundos y en muchos casos presentan zonas húmedas y mal drenadas, (Vélez, 2012).

2.10.2 Formación Loyola

Litológicamente se presenta como una Formación sedimentaria clástica fino granular; consiste en una alternancia de lutitas gris oscuro muy fisibles, limolitas que meteorizan a arcillas de color blanco y habano, localmente lentes de areniscas limosas habanas, finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas, y mega brechas. A lo largo de la vía Monay – Paccha existen zonas donde se observa este tipo de afloramientos, en la zona de estudio es la formación dominante.

El comportamiento geotécnico de esta formación es el siguiente:

En la fotografía 4 se observa la formación Loyola que aparece en diferentes sectores de la vía Monay – Paccha y es la dominante en la zona de estudio.



Fotografía 4: Lentes de areniscas que se observan en la vía Monay – Paccha
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

2.10.2.1 Condiciones Geodinámicas

A esta formación en función de los sedimentos finos granulares que presenta se le acreditan numerosos eventos inestables, presenta un fracturamiento y plegamiento por fallamiento, cuando está saturado favorece al colapso de la estabilidad. Esta es la formación dominante del punto de estudio. (Vélez, 2012).

2.10.2.1 Condiciones Hidrogeológicas

Presenta una baja permeabilidad, permite la infiltración de aguas, lo que conlleva a un importante aumento de la presión de poros en zonas mal drenadas y en el pie de colinas cerca o bajo los niveles freáticos (Vélez, 2012).

2.10.2.2 Susceptibilidad a terrenos inestables

Presenta una susceptibilidad de moderada a alta, los suelos residuales de la formación Loyola, propician reptaciones de acuerdo a la temporada si es época seca o de lluvia. Los sedimentos de esta formación, fino granulares fragmentados, provocan en condiciones no drenadas deslizamientos rotacionales profundos en pendientes clasificadas como bajas a medias.

En la zona de Paccha esta formación es la que provoca el deslizamiento con el mismo nombre de la población, que cubre un área de 17 millones de m², acreditándole a esta formación todos los deslizamientos de la zona.

En la fotografía N° 5 se observa el fenómeno de reptación que propicia esta formación.



**Fotografía 5: Fenómeno de reptación que se produce en la zona.
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015**

2.10.3 Formación Azogues

A lo largo de la vía también se observa esta formación, litológicamente está confirmada por sedimentos del tipo clásticos, se presentan como areniscas tobáceas de grano medio a grueso, café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. (Vélez, 2012)

En la fotografía 6 se observa presencia de esta formación.



Fotografía 6: Presencia de la Formación Azogues en la zona
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

2.10.3.1 Condiciones Geodinámicas

Esta formación se caracteriza por ser permisible a la caída de bloques y derrumbes cuando presentan una morfología desfavorable por la pendiente del terreno, los deslizamientos se componen de material incompetente de los sedimentos de Azogues, así como sedimentos finos de la Formación Loyola. (Vélez, 2012)

2.10.3.2 Condiciones Hidrogeológicas

Aunque en la zona no se evidencia el macizo rocoso correspondiente a esta formación, presentan una permeabilidad media a alta por fracturación. (Vélez, 2012).

- Intensidad de las precipitaciones pluviales
- Características litológicas primarias de las formaciones rocosas y de suelos; tales como granulometría, porosidad, estratificación, etc.
- Estado de conservación del macizo rocoso, grados de alteración y de fracturamiento, etc.
- Control de los patrones estructurales: planos de foliación
- Distribución del sistema de drenaje, etc.

La interacción de los factores antes mencionados en la superficie y al interior del territorio en estudio es compleja, igualmente resulta compleja la interpretación de un modelo del régimen hidrogeológico, generalizado para toda el área, así como su influencia directa en zonas propensas a deslizamientos dentro del perímetro del área estudiada y en cada caso de alternativa de solución.

La evaluación de las condiciones hidrogeológicas al presente nivel de estudios, está fundamentada en las observaciones de campo.

A continuación se efectúa el análisis de los principales aspectos hidrogeológicos.

2.12.1 Precipitaciones pluviales

Los estudios hidrológicos mediante los datos de precipitación pluvial registrados en las estaciones hidrometeorológicas, establecen precipitaciones de 800 – 900 mm/año, lo cual traducido a intensidad de precipitación en los meses lluviosos, es considerable. Los meses de mayor intensidad se mencionan en el literal 1.4 de este trabajo.

Parte de las aguas precipitadas son retenidas por los suelos que conforman el talud, pero gran parte de ellas son drenadas en superficie a las quebradas de la zona y posteriormente conectas al Río Tomebamba (quebrada que descarga altura Hospital del IESS) o aguas abajo al Río Cuenca (quebradas que descargan Ucubamba).

2.12.2 Aguas superficiales

En el territorio en estudio, se aprecian pequeñas quebradas que tienen una escorrentía principal y permanente, y, que por su posición altimétrica actúan como principal dren y control del gradiente hidráulico de la región. Mucha de esta agua por las características geológicas y geotécnicas del sitio, permiten la infiltración al subsuelo generando un sobre peso al macizo.

En los meses lluviosos los caudales que discurren por pequeñas quebradas y las zonas erosionadas son altos, mientras que durante las estaciones secas alcanzan las primeras decenas de l/s. Gran parte de dichas aguas alimentan el caudal del río Cuenca, sólo una parte mínima se utiliza en para fines de irrigación de los terrenos de cultivo, amplificándose así el área de percolación al interior del macizo, así como la evaporación, sea por las plantas o los agentes del sol y viento.

2.12.3 Corrientes subterráneas

De los ensayos de campo realizados, sumados a las características, geológicas, morfológicas y topográficas de la zona y las observaciones visuales se evidencia zonas saturadas a diferente profundidad, presentando flujos leves de agua al margen de la carretera.

En la fotografía 7 se observa un camino por donde recorre el agua que proviene del subsuelo.



Fotografía 7: Desfogue de corriente de agua que proviene del sub suelo de la zona
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

2.12.4 Uso actual del suelo

En la zona del proyecto se evidencia zonas erosionadas, sumados a las características geológicas imperantes generan suelos que son aptos para la agricultura pero sufren fenómenos de reptación.

En la zona se evidencia sembríos pequeños, bajos matorrales, que favorecen al escurrimiento del agua, no así las zonas erosionadas que favorecen a la infiltración.

En la fotografía 8 se aprecia las condiciones del suelo por lo cual mayoritariamente son tierras con bosques naturales



Fotografía 8: Bosques presentes en la zona de estudio y zonas medianamente erosionadas
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

2.13 Geología Estructural

La tectónica se refiere a las estructuras geológicas que afectan a las rocas, en la zona de estudio, las principales estructuras presentes constituye los planos de foliación de las lutitas pertenecientes a la Formación Loyola / Azogues. En la zona de estudio no se aprecia la roca clástica de la Formación Loyola, 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.

CAPÍTULO III.- CARACTERIZACIÓN DE DESLIZAMIENTO

3.1 Descripción y clasificación de los movimientos

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

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 humana e incuantificables costos económicos.

3.2 Movimientos de laderas

La morfología y el relieve de las laderas 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, 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 (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, en esta se enumeran los movimientos en masa más comunes (González , 2002)

3.3.1 Deslizamientos

Es un desplazamiento de corte que 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.

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 11 nos muestra un esquema de los que es un deslizamiento.

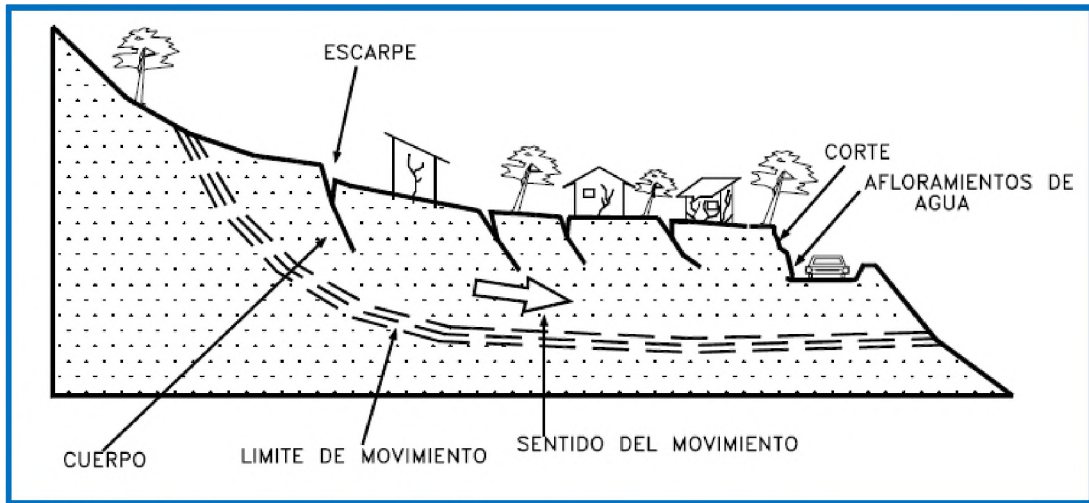


Figura 11: Esquema de un deslizamiento en suelos blandos.

Fuente: Imagen tomada y adaptada el presente trabajo de, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.

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

3.3.1.1 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 12. 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.

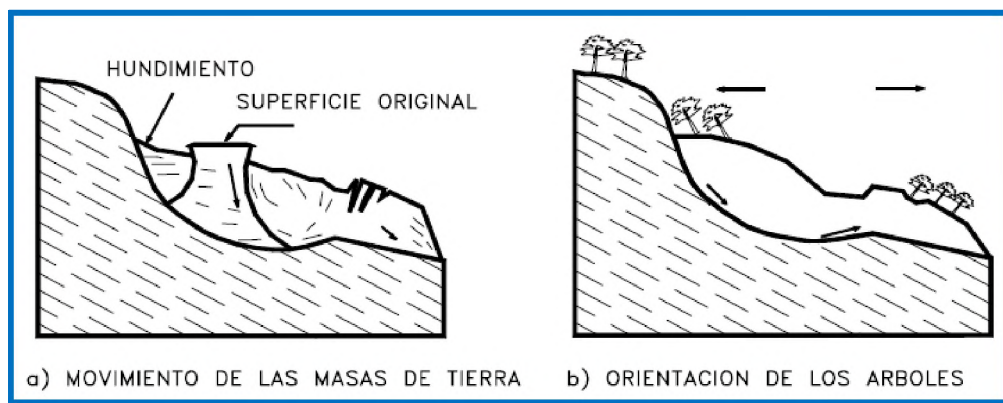


Figura 12: Esquema de un deslizamiento rotacional típico.

Fuente: Imagen tomada y modificada al presente trabajos de, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998).

3.3.1.2 Deslizamiento 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 13.

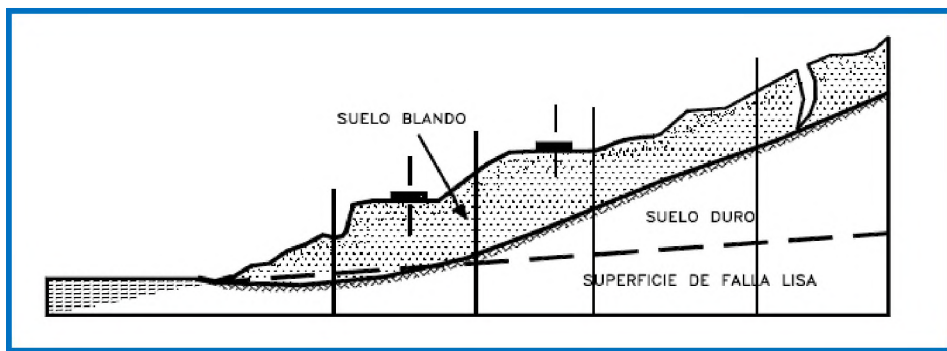


Figura 13: Esquema de un deslizamiento traslacional.
Fuente: Imagen tomada y adaptada al presente trabajo de, Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Suarez, 1998.

Para 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 1 nos da la nomenclatura a un tipo de deslizamiento según su profundidad.

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

Tabla 1: Clasificación de los deslizamientos en base a la profundidad de la superficie del deslizamiento.
Fuente: Latellin Et Al., 1997

En la tabla 2 se observa la clasificación de los deslizamientos en función de su actividad o movimiento

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 2: Clasificación de los deslizamientos en base a su actividad
Fuente: (Latellin Et Al., 1997)

Otra clasificación de los deslizamientos según su actividad es la que sigue a continuación:

- Deslizamientos activos.*- Aquellos que en la actualidad se encuentran en movimiento.
- Deslizamientos latentes.*- Aquellos que en la actualidad se encuentran inactivos pero que pueden pasar a activos por los factores que inicialmente generaron el movimiento.

Deslizamientos antiguos.- Son inactivos, las causas que originalmente los iniciaron ya no los han vuelto a afectar.

3.3.2 Flujos

También conocidos como coladas, son movimientos de masas (pueden ser de barro, flujos de residuos, de bloques rocosos) que tienen una abundante presencia de agua, 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 subsuperficiales. Su velocidad es variable dependiendo del tipo de flujo, la figura 14 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.

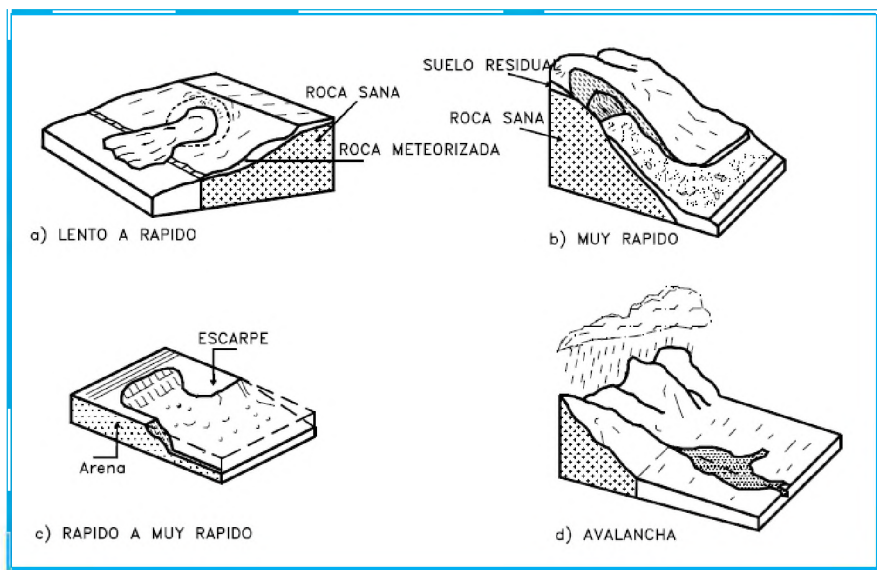


Figura 14: Esquema de un flujo según su velocidad.

Fuente: Imagen tomada y adaptada de, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, Suarez, 1998.

3.3.3 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.

3.3.4 Avalanchas Rocosas

En este movimiento a más de contener grandes masas rocosas que se desprenden, estas vienen acompañados 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 15 es un bosquejo de este tipo de movimiento.

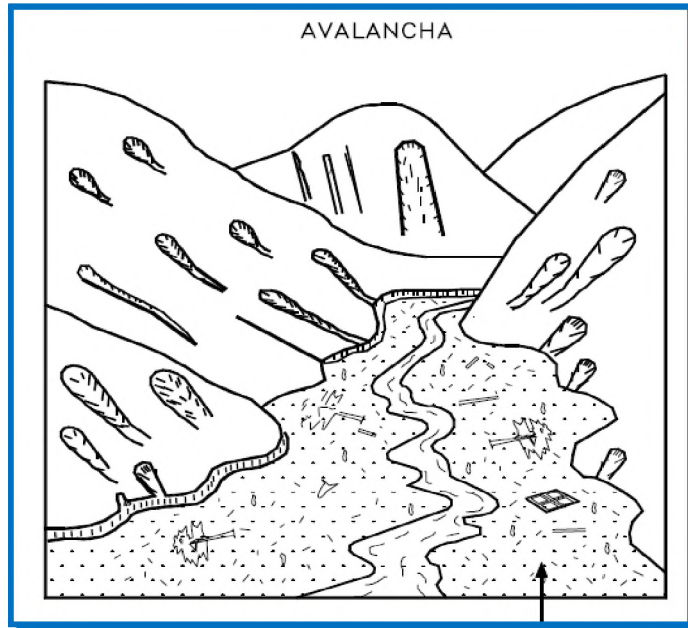


Figura 15: Esquema de una avalancha.

Fuente: Imagen tomada y adaptada de, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, Suarez, 1998.

3.3.5 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.

3.3.6 Desplazamiento laterales

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.

3.3.7 Caído

Se dan en taludes con pendientes fuertes, en donde masa de diferentes tamaños son desprendidas a lo largo de la superficie de rotura, este movimiento es muy rápido y se da como

caída libre o masas rodando. Este movimiento se da comúnmente en rocas fracturadas, diaclasadas como en detritos (fragmentos pequeños de roca y suelo).

3.4 Causas de los diferentes tipos de movimientos

El movimiento de laderas está controlado por factores que son capaces de modificar tanto las fuerzas internas como las externas en un terreno. Factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos son los que están determinando su estabilidad.

Son factores condicionantes (pasivos) los geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos, estos factores dependen de la propia naturaleza. Son desencadenantes (activos) todas las fuerzas externas sean estas temporales o fijas que actúan sobre el suelo, con frecuencia se atribuyen a factores como lluvias, terremotos, explosiones entre otros. La geometría del terreno (altura e inclinación) y la geología controlan la posibilidad de rotura y los modelos de inestabilidad.

En los siguientes cuadros se puede apreciar cómo actúan, cuales son, la influencia y efectos de los diferentes factores para la estabilidad de una ladera. En la tabla 3 se pueden observar los diferentes factores condicionantes y los desencadenantes que determinan la inestabilidad de una ladera.

Factores Condicionantes	Factores Desencadenantes
-Estratigrafía y litología	-Sobrecargas sísmicas
-Estructura geológica	-Cargas dinámicas
-Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales	-Cambios en las condiciones hidrogeológicas
-Propiedades físicas, resistentes y deformacionales	-Factores climáticos
-Tensiones naturales y estado tenso - deformacional	-Variaciones en la geometría
	-Reducción de parámetros resistentes

Tabla 3: Factores influyentes en la inestabilidad de una ladera.
Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzáles de Vallejo. 2004

En la tabla 4 se observan la influencia de los diferentes factores como condicionantes de los materiales y las laderas.

	Factores	Influencias y efectos
Condicionantes	Relieve (pendientes, geometría)	Distribución del peso del terreno
	Litología (Composición, textura)	Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico
	Estructura geológica y estado tensional	Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo y anisótropo. Zonas de debilidad
	Propiedades geomecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales.
	Deforestación	Modificación en el balance hídrico. Erosión.
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.
	Desencadenantes	Precipitaciones y aportes de agua
Cambio en las condiciones hidrológicas		Saturación en suelos. Erosión.
Aplicación de cargas estáticas y dinámicas		Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales.
Cambios morfológicos y de geometría en las laderas		Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado tensional
Erosión o socavación del pie		Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera
Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)		Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes.

Tabla 4: Influencia de los diferentes factores en las condiciones de los materiales y las laderas.
Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzales de Vallejo. 2004

En la tabla 5 se observan los factores influyentes en el comportamiento geomecánico que tienen los materiales en los taludes.

Reducción de la resistencia al corte	Aumento de los esfuerzos de corte
<p><i>Condiciones iniciales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Composición, textura y estructura. -Fracturas y fallas. -Planos de estratificación y de foliación. -Zonas de brechas. -Rocas masivas sobre materiales plásticos. -Alternancia de materiales con diferente permeabilidad. <p><i>Cambios en los materiales por meteorización y reacciones físico-químicas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Desintegración física de rocas. -Hidratación de minerales arcillosos. -Desecación de arcillas y de rocas arcillosas. -Disolución y lavado de materiales. -Plastificación de arcillas. <p><i>Cambios en las fuerzas intergranulares debidas al agua y presiones de agua en poros y fracturas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Precipitaciones. -Deshielo. -Lagos y embalses. -Riego. -Deforestación. <p><i>Cambios en la estructura:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Por figuración en pizarras y arcillas sobreconsolidadas. -Por relajación de tensiones en laderas rocosas en valles o excavaciones. -Por remoldeo de suelos finos (arenas, loess) y arcillas sensitivas. <p><i>Debilitamiento de la resistencia debido a procesos lentos de movimiento.</i></p> <p><i>Acción de las raíces de árboles y arbustos.</i></p> <p><i>Excavación de madrigueras de animales.</i></p>	<p><i>Actuación de los esfuerzos transitorios:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Movimientos sísmicos. -Vibraciones por voladuras, maquinarias y tráfico. -Deslizamientos cercanos. <p><i>Perdida de confinamiento lateral y en la base de las laderas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Erosión del pie de las laderas por ríos arroyos. -Lluvias. -Erosión interna o subterránea. -Disolución y lavado del material. -Minería en la zona. -Presencia de materiales plásticos infrayacentes. <p><i>Cambios en la morfología:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Deslizamientos. -Grandes fallas. <p><i>Sobrecargas naturales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Peso de lluvia y agua de acuíferos. -Acumulación de derrubios, coluviones o masas deslizadas. -Vegetación. <p><i>Sobrecargas antrópicas.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Rellenos, escombreras y acopio de materiales. -Edificios y estructuras. -Cultivos y riego de laderas. -Excavaciones. -Retirada de elementos de contención. -Construcción de embalses y lagos. <p><i>Presión lateral:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -Agua en grietas y cavidades. -Hielo en grietas. -Presencia de materiales expansivos. -Movilización de esfuerzos residuales. <p><i>Procesos volcánicos.</i></p>

Tabla 5: Influencia de los diferentes factores en el comportamiento geomecánico de los materiales que conforman una ladera.

Fuente: Ingeniería Geológica, Gonzales de Vallejo. 2004.

Dentro de los factores que desencadenan el movimiento en las laderas uno muy importante tiene relación con el comportamiento hidrogeológico, el mismo que está asociado con sus características estructurales y litológicas, y su grado de alteración y meteorización. En zonas de altos registros de lluvias, se observan sobre estratos rocosos alta presencia de materiales alterados y meteorizados, además elevados niveles freáticos que influyen en la estabilidad. (González, 2002)

Se debe considerar que el agua tiene un doble papel negativo en la estabilidad, influye en la resistencia de los materiales de la siguiente manera:

- Reduce los parámetros de resistencias en diferentes tipos de suelos, al aumentar las presiones intersticiales reduce la resistencia al corte.
- Aumenta el peso del terreno y la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades, lo que incrementa los esfuerzos de corte.

Las precipitaciones y las diversas condiciones climáticas condicionan al movimiento de laderas, el terreno presenta diferentes comportamientos ante precipitaciones intensas, el agua altera los estados tensionales por las presiones que ejerce (intersticial y aumento de peso), produce erosión interna y externa, cambios mineralógicos, todo esto modifica las propiedades y resistencia de los suelos. De igual forma, las precipitaciones al infiltrarse producen flujos subterráneos en las laderas, aumentando la zona saturada e incrementando el nivel freático. Esta cantidad de agua va a depender de factores como la vegetación de la zona, intensidad y duración de las lluvias, tamaño de aporte de la cuenca, del tipo de terreno su permeabilidad, su topografía, el nivel freático inicial entre otros que deben ser estudiados cuidadosamente al realizar un estudio para la estabilidad de laderas.

3.5 Velocidad de los movimientos

La velocidad de la masa deslizada guarda una estrecha relación con los diferentes tipos de movimientos y es una de las principales causantes de pérdidas de vidas humanas cuando no se ha podido prevenir estos acontecimientos y las velocidades han sido muy rápidas. En la tabla 6 se detallan las velocidades de movimiento, su descripción, y su poder de destrucción.

Tipo	Velocidad (mm/seg)	Desplazamiento (m/seg)	Consecuencias
<i>Extremadamente rápido</i>	5×10^3	5 m/seg.	<i>Catástrofe con consecuencias graves. Pérdida de vidas humanas</i>
<i>Muy rápido</i>	5×10^1	3 m/min.	<i>Algunas pérdidas de vidas humanas. Pocas posibilidades de escape</i>
<i>Rápido</i>	5×10^{-1}	1.8 m/hora	<i>Escape posible. Estructuras, vehículos, destruidos, tapados.</i>
<i>Moderado</i>	5×10^{-3}	13 m/mes	<i>Estructuras afectadas notoriamente.</i>
<i>Lento</i>	5×10^{-5}	1.6 m/año	<i>Pueden llevarse a cabo soluciones para el movimiento mientras sucede.</i>
<i>Muy Lento</i>	5×10^{-7}	16 mm/año	<i>Estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento</i>
<i>Extremadamente lento</i>	–	–	<i>Imperceptible sin instrumentación.</i>

Tabla 6: Velocidades de movimiento y consecuencias.

Fuente: Adaptación de Cruden, Varnes, 1996.

3.6 Caracterización del deslizamiento

La investigación de un deslizamiento tiene como objetivo principal el conocer toda la información posible sobre las características geológicas, topográficas, geotécnicas, geométricas, geofísicas, ambientales, entre otras que permiten realizar un diagnóstico de la situación actual del movimiento, caracterizándolo y en base al análisis realizado dar la solución más efectiva al problema presentado. (González, 2002)

Es así que se debe analizar todos los aspectos relacionados con el área de estudio, buscando información de los movimientos ocurridos en el pasado y analizándolos conjuntamente con el

presente. Para la determinación de la profundidad a la cual se está produciendo el plano de rotura es muy importante la información que se puede obtener de la instrumentación que se disponga en la zona de estudio, de igual manera los ensayos de geofísica dan como resultado una imagen más clara de lo que está sucediendo en el interior de la formación geológica. Del muestreo que se realice como investigación de campo se van a obtener posterior a los ensayos de laboratorio los parámetros geotécnicos del suelo estudiado, con estos se van a determinar las resistencias del suelo, sus propiedades intrínsecas.

En el presente trabajo no se dispone de información de inclinómetros (registra el movimiento de un talud), piezómetro (mide la fluctuación del nivel freático) ensayos geofísicos (permite conocer las diferentes capas del suelos) que den con claridad una idea de lo que sucede en las sub capas del suelo, razón por la cual se van asumir valores en ciertos casos lo más pegados a la realidad en función de tablas de diversos autores.

3.7 Modelo Geológico del deslizamiento

3.7.1 Estado de actividad el movimiento

Este movimiento forma parte de un macro deslizamiento "Paccha", lo que a su vez ha generado que los coluviales presentes sean formado por parte de este gran movimiento, cuyo origen se le puede atribuir a las características litológicas de la formación. Basándose en la morfología del sitio se infiere que este deslizamiento ha tenido alrededor de unos movimientos importantes a lo largo de su historia. Actualmente este deslizamiento se lo clasifica en el presente trabajo en función de la tabla 3 como semi estable o muy lento (activo movimiento entre 0 a 2 cm/a, esto clasificación en función de lo que se observa en la zona y consultas a moradores del lugar), mostrando su movimiento desde algunos años 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 que principalmente se desarrolla en el contacto coluvión – roca, lo cual se verificará en la modelación en función de los parámetros encontrados de ensayos de campo y laboratorio

3.7.2 Movimiento adoptado para la modelación del talud

Como se mencionó en el literal 3.3 "Tipos de movimientos" 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 podemos anotar las siguientes:

- a. El colapso toma la forma de cuchara
- b. La masa que se desliza se está acumulando al final del talud
- c. El suelo de los ensayos de laboratorio es un suelo cohesivo
- d. Presentan agrietamientos en varias partes del talud
- e. Se evidencia rotación
- f. Existe una saturación del terreno.
- g. En épocas de intensa lluvia se observa una aceleración del movimiento.
- h. La longitud de movimiento no es extensa

Analizando todas las características de este movimiento en masa y basándonos en lo expuesto en el literal 3.3.1, este movimiento se lo clasifica principalmente como un **Deslizamiento del Tipo**

Rotacional. También en este movimiento se puede encontrar reptaciones, deslizamientos superficiales, asentamientos del terreno por lo cual se lo puede clasificar como de estilo complejo.

3.8 Análisis Geotécnico del Suelo

El objetivo de la evaluación geotécnica, es 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.

3.8.1 Metodología

Con el propósito de lograr los objetivos antes citados se realizó la evaluación de acuerdo a la siguiente metodología:

- Investigación geotécnica de campo (perforación por percusión SPT)
- Elaboración de perfiles estratigráficos.
- Determinación de los parámetros de resistencia.
- Análisis de los factores de seguridad a deslizamiento de los taludes naturales
- Conclusiones y recomendaciones.

3.8.1.1 Investigación Geotécnica de campo

La investigación geotécnica de campo contempla dos aspectos, el primero hace referencia a la determinación parámetros de resistencia de suelos para conocer la capacidad admisible, profundidad de cimentación, asentamiento permisible, tratamiento de la cimentación, etc, para las diferentes obras civiles principales que conformarían un posible proyecto.

Para dar cumplimiento con el primer aspecto, se procedió a ejecutar dos perforaciones por percusión y ensayos SPTs. Las perforaciones a más de permitir obtener muestras del subsuelo a diferentes profundidades constituye una herramienta útil y práctica para la obtención de parámetros geomecánicos, cuya principal finalidad es la de llegar a determinar la capacidad de soporte del suelo de fundación, misma que es imprescindible para el dimensionamiento de la cimentación para las diferentes estructuras que puedan ser proyectadas.

Los objetivos de la exploración mediante perforación por percusión son:

- Determinar el perfil litoestratigráfico, para conocer la estructura y textura del suelo hasta llegar a la roca o rechazo a la penetración.
- Determinar las propiedades geomecánicas del suelo de fundación.
- Caracterización de los suelos mediante el sistema de clasificación SUCS.

En un proyecto de obra ingenieril se debe 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 realizaron dos ensayos, de los mismos se realizaron los ensayos de laboratorio y se obtuvieron parámetros necesarios para la modelación.

3.8.1.2 Ubicación de los sondeos

En la tabla 7 se aprecia la ubicación de los sondeos realizados en la zona estudiada

CONFIGURACION DEL SISTEMA DE COORDENADAS		
SISTEMA: UTM DATUM: WGS84 ZONA. 17		
Muestra N°	Este	Norte
1	728741	9677316
2	728788	9677356

Tabla 7: Coordenadas de los sondeos realizados

En las fotografía 9 y 10 se observa la perforación realizada así como la muestra obtenida referente al sondeo N° 1



Fotografía 9: Sondeo No.1

Elaborado: Byron Quezada

Fecha: Agosto 2015

Fotografía 10: Muestra obtenida a 2.50m de profundidad

Elaborado: Byron Quezada

Fecha: Agosto 2015

En la fotografía 11 y 12 el sondeo N° 2 y la muestra extraída



Fotografía 11: Sondeo No.2

Elaborado: Byron Quezada

Fecha: Agosto 2015



Fotografía 12: Muestra extraída a 2.50m de profundidad

Elaborado: Byron Quezada

Fecha: Agosto 2015

3.8.2 Parámetros de Resistencia y deformación del suelo.

Para la determinación de los parámetros geomecánicos de los suelos presentes en el área del proyecto, se utilizó correlaciones del número SPT, mismo que constituye uno de los parámetros más importantes y difundidos en el campo de la geotecnia, fundamentalmente por la sencillez de la ejecución del ensayo para su determinación, y su utilidad radica en la posibilidad como se mencionó anteriormente de correlacionar el valor N con parámetros geotécnicos del suelo es decir, el ángulo de fricción interna (ϕ) y la Cohesión (c).

Para materiales friccionantes se utilizará la correlación empírica propuesta por Ohsaki (1959) que relaciona el valor N_{SPT} con el ángulo de fricción.

$$\phi = \sqrt{20 * N} + 15$$

Donde:

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo.

N = Número de golpes por cada 30 cm de penetración del ensayo de SPT.

En el caso de los suelos cohesivos, estas correlaciones presentan gran dispersión de resultados y generalmente corresponde a otras latitudes, razón por la cual para que las mismas tengan utilidad en nuestro medio, fue necesario verificar su validez.

En el presente trabajo se utilizó la expresión de Stround (1974) en la cual la constante K asumió el valor de 5.

$$\text{Stround (1974)} \quad C_u = KN$$

Donde:

K constante comprendida en el rango de 3.5 a 6.5 Kn/m²

N Número de golpes SPT

Cu = Valor de Cohesión del suelo

Los módulos de elasticidad, utilizados para la modelación con elementos finitos fueron calculados mediante las siguientes expresiones (Braja, 2001):

Arenas Arcillosas $E_s=5(N_{SPT}+5)$ Kg/cm²

Limos y Arcillas $E_s=60+1.5N_{SPT}$

3.9 Característica de los suelos encontrados.

Se realizaron dos sondeos planificados a 6.50m de profundidad o hasta alcanzar el rechazo. Con los sondeos realizados, se determinó la consistencia de los depósitos cohesivos mediante ensayos SPT, también se procedió a la toma de muestras mediante la utilización de muestreadores de tubo partido.

Con las muestras así obtenidas, se realizó un plan de ensayos de laboratorio normados por la ASTM, siendo los utilizados los siguientes:

- Contenido de agua ASTM D-2216
- Granulometría ASTM D-422
- Límite líquido ASTM D-423
- Límite plástico ASTM D-424

En función de los ensayos realizados se obtuvo que el suelo de fundación en los sectores investigados, se encuentra constituido por suelos finos de características limoarcillosos y arcillas arenosas con comportamiento cohesivo unos y friccionantes otros de consistencia que varía en los suelos cohesivos de blanda a media para el primer metro de espesor, luego se incrementa a consistente a muy consistente para los 2.50 metros y finalmente presenta consistencias duras por debajo de este nivel. En el caso de los suelos friccionantes, la compacidad varía de suelta hasta muy compacta. Se ha podido evidenciar nivel freático hasta la profundidad a una profundidad de 3 metros desde la superficie, solo en el segundo sondeo, del cual se va a asumir los valores para la modelación. En la tabla 8 se observa los parámetros de los suelos encontrados y que serán utilizados en la modelación

SONDEO #	PROF. (m)	TAMIZ #			% LL	% LP	% IP	% HN.	e%	δs	S%	C _{ton/m2}	ϕ	SUCS
		No. 4	No. 40	No. 200										
1	1,50	100	95,8	85	66,81	41	25,81	24,32	75,76	17,90	78,65	7,39		MH
	-2,50	100	84,6	75,2	45,29	30,15	15,14	14,61	62,03	18,59	57,70		40,50	ML
	-3,50	100	84,6	75,2	45,29	30,15	15,14	14,61	62,03	18,59	57,70		44,00	ML
		RECHAZO												
2	1,50	100	96,4	88,2	54,1	28,5	25,6	20,1	69,80	18,19	70,55	3,06		CH
	-2,50	100	94,6	82,2	49,1	30,1	19	19,9	69,51	18,20	70,14	8,92		MH
	-3,50	100	97	86,4	51,77	27,45	24,32	18,41	67,41	18,31	66,91	17,58		CH
	-4,50	100	97	86,4	51,77	27,45	24,32	18,41	67,41	18,31	66,91	20,64		CH

Tabla 8: Resultados de los ensayos realizados a las muestras extraídas.

Donde:

LL	Límite Líquido	e	relacion de vacios
LP	Límite Plástico	δs	Peso volumétrico saturado
IP	Indice de plasticidad	S	Saturación del suelo
HN	Humedad natural	C	Cohesión
		ϕ	Angulo de fricción

3.10 Parámetros adoptados para la modelación

Los parámetros adoptados para la modelación del talud por una parte fueron adoptados en función de los resultados de laboratorio; de estos se desprende que la capa superficial conformada por coluviones tiene dos componentes desde los 0 a 2.50 metros y desde los 2.50 metros otros parámetros para el mismo tipo de suelo.

Para la modelación estos dos estratos al tener características similares se consideran como un solo Horizonte denominado A y con subdivisiones A1 Y A2.

Por otra parte en función de la litología que se puede evidenciar en taludes de la zona se infiere que los coluviones presentes tienen un espesor promedio de 10 metros, posterior a este se presentan material consolidado de la formación Loyola, de los mismo no se pudo obtener los parámetros pero de la investigación bibliográfica realizada (Vélez, 2012) se adoptan los parámetros que se describen en la tabla 10 y que están denominados Horizonte B.

En la tabla 9 se observan los parámetros de estos dos tipos de suelos y que son los utilizados para la modelación del talud.

Horizonte		PROFUNDIDAD (m)	ϕ°	C (Kn/m ²)	g húmedo (Kn/m ³)	E (Kg/cm ²)	μ (Coef. Poisson)
A	A1	De 0 a 2.50	0	19.30	16.00	72	0,21
	A2	2.50 a 10.00	0	27.4	17.00	90	
B		>A 10.00	46	0	19.30	2970	0,21

Tabla 9: Parámetros obtenidos en función de las muestras extraídas y ensayos realizados a las mismas

3.11 Movimientos de la Masa del suelo

Los procesos de inestabilidad como procesos de geodinámica externa de la corteza terrestre, son deslizamientos, desprendimientos, derrumbes y hundimientos que se generan por procesos de escorrentía (clima / temperatura), erosión / denudación, deforestación, entre otros, estos ocurren en zonas caracterizadas por pendientes suaves asociadas a precipitaciones extremas, parámetros de bajo grado de resistencia geotécnica de las rocas y suelos, influencia de debilidades geológicas como fracturas (fallas, diaclasas, etc.), nivel freático superficial y acción entrópica como construcción de obras civiles sin normas adecuadas de prevención y de seguridad constructiva y mal manejo de los terrenos agrícolas.

La figura 16 muestra el Mapa de Deslizamientos de las zonas más propensas en el país.

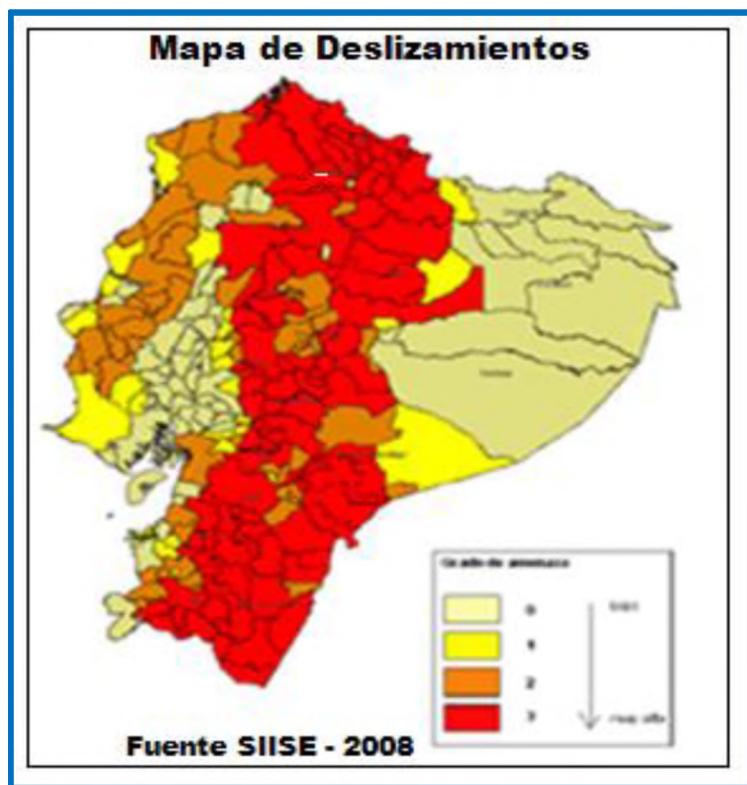


Figura 16: Zonas propensas a diferentes tipos e intensidades de deslizamientos en el país
Fuente: SIISE, 2008

El nivel de amenaza por deslizamiento calificado por el SIISE en escala de 0 a 3 en función a las pendientes y las características del suelo; para el caso de la zona de Paccha (zona de estudio), es de grado 3, lo que indica que tiene una amenaza alta a deslizamientos, esto considerando las características morfológicas, litológicas, tectónicas y sísmicas (se reportan varios deslizamientos a lo largo de la vía Monay - Paccha al igual que el deslizamiento principal denominado Paccha).

3.11.1 Inundaciones

De la inspección del campo se ha llegado a la conclusión que la propiedad es muy susceptible a recibir inundaciones provocadas por el desprendimiento de materiales que taponen los cauces naturales de drenaje represando sus caudales formando represas mal conformadas que podrían causar posteriores desfuegos desordenados. Puntualmente, la ladera general estudiada por su ubicación y características geomorfológicas – geotécnicas presenta un alto riesgo a provocar inundaciones por taponamiento de quebradas.

3.11.2 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.

3.12 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.

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. Para obtener las intensidades sísmicas esperadas se usan dos metodologías, el método probabilístico y el determinístico, existiendo además metodologías intermedias que se ubican entre los métodos citados.

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.

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 de la falla debido al levantamiento de los Andes.

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 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 la determinación del valor de la aceleración sísmica de diseño, se ha utilizado el mapa de peligros sísmicos elaborado en el año 2014, para ser incorporado al Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2014.

La tabla 10 indica el mapa de zonificación sísmica presente en el país, la categoría otorgada, el valor de aceleración y la caracterización de la amenaza sísmica.

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 10: Mapa de zonificación sísmica
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014 (NEC)

En la figura 17 se observa el Mapa de Peligros Sísmicos en aceleraciones g para un periodo de retorno de 200 años en el país

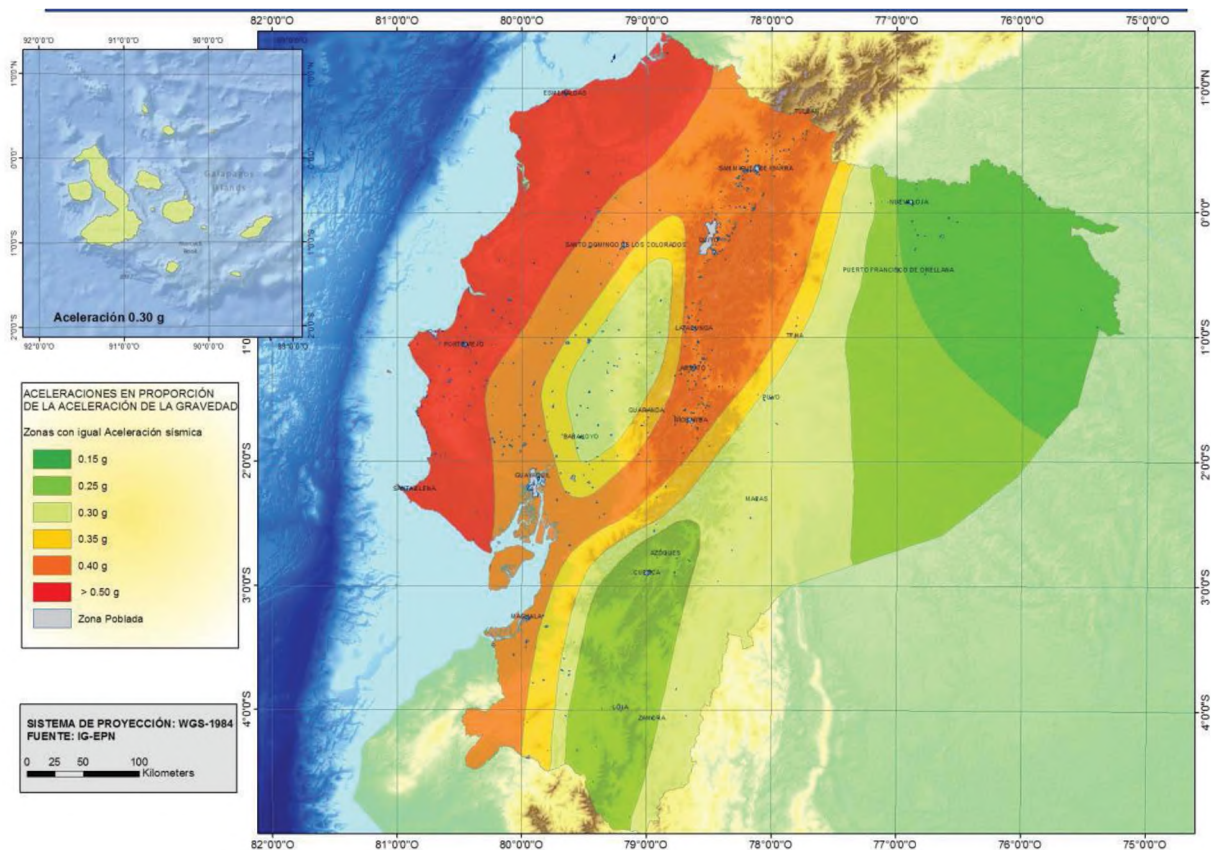


Figura 17: Mapa de Peligro Sísmico en aceleraciones g
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014

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 recomendado para el área de estudio será de 0.21g.

3.13 Perfil asumido en función de la topografía

En función del levantamiento topográfico realizado se eligió un perfil que corte a la masa en movimiento, del mismo en función de la topografía se generó un perfil A – A que se utilizó para la modelación del talud. En la figura 18 se aprecia la topografía y la línea que representan el perfil seleccionado; en la figura 19 se observa el perfil elegido para la modelación.

Para la selección del perfil se eligió una zona de mayor impacto de producirse un deslizamiento de mayor magnitud, por lo cual se eligió como zona altamente vulnerable la vía Monay – Baguanchi – Paccha, como se observa en el gráfico siguiente.

MAPA CON EL PERFIL A - A - SECTOR PACCHA

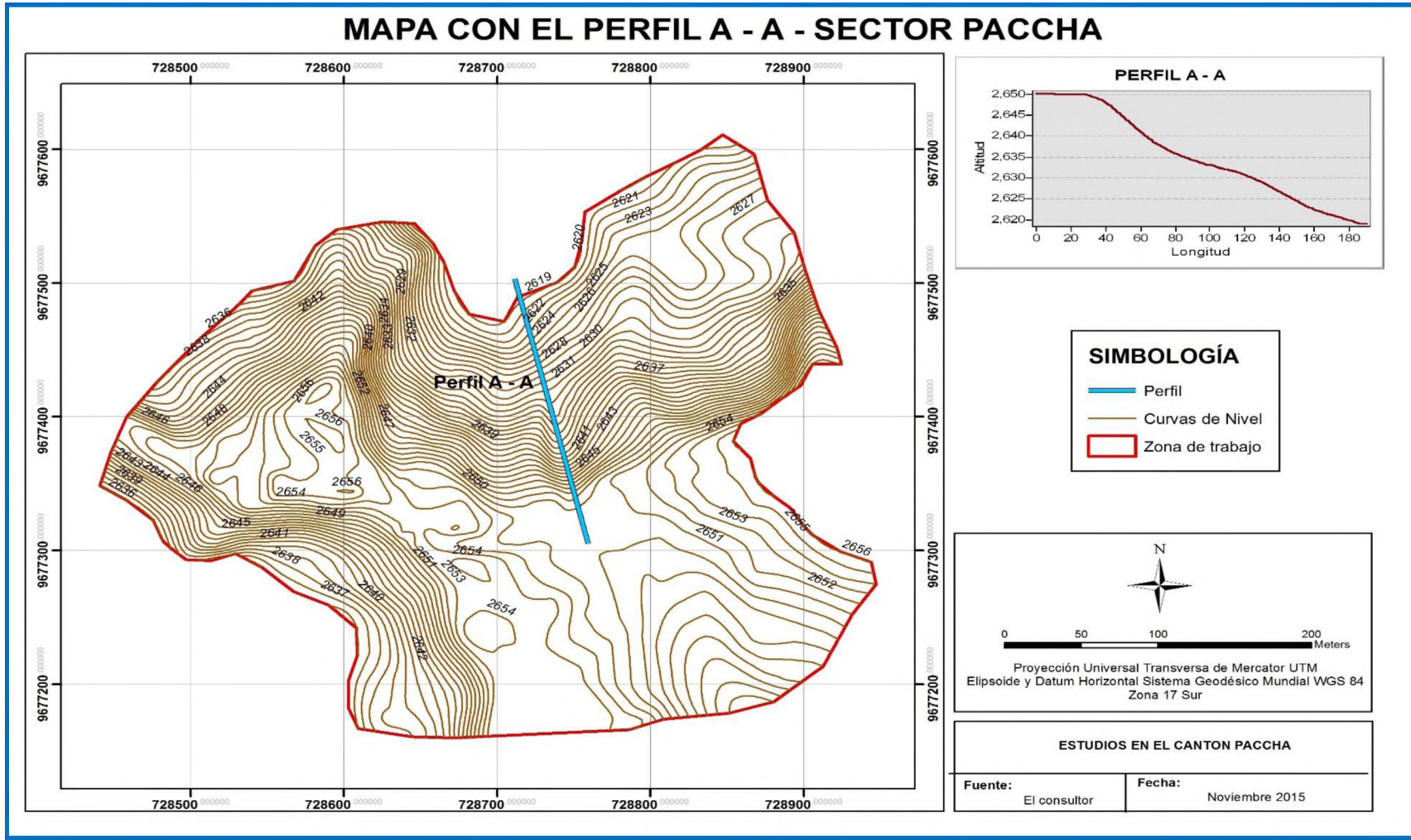


Figura 18: Topografía de la zona y perfil A - A seleccionado y generado para la modelación del talud

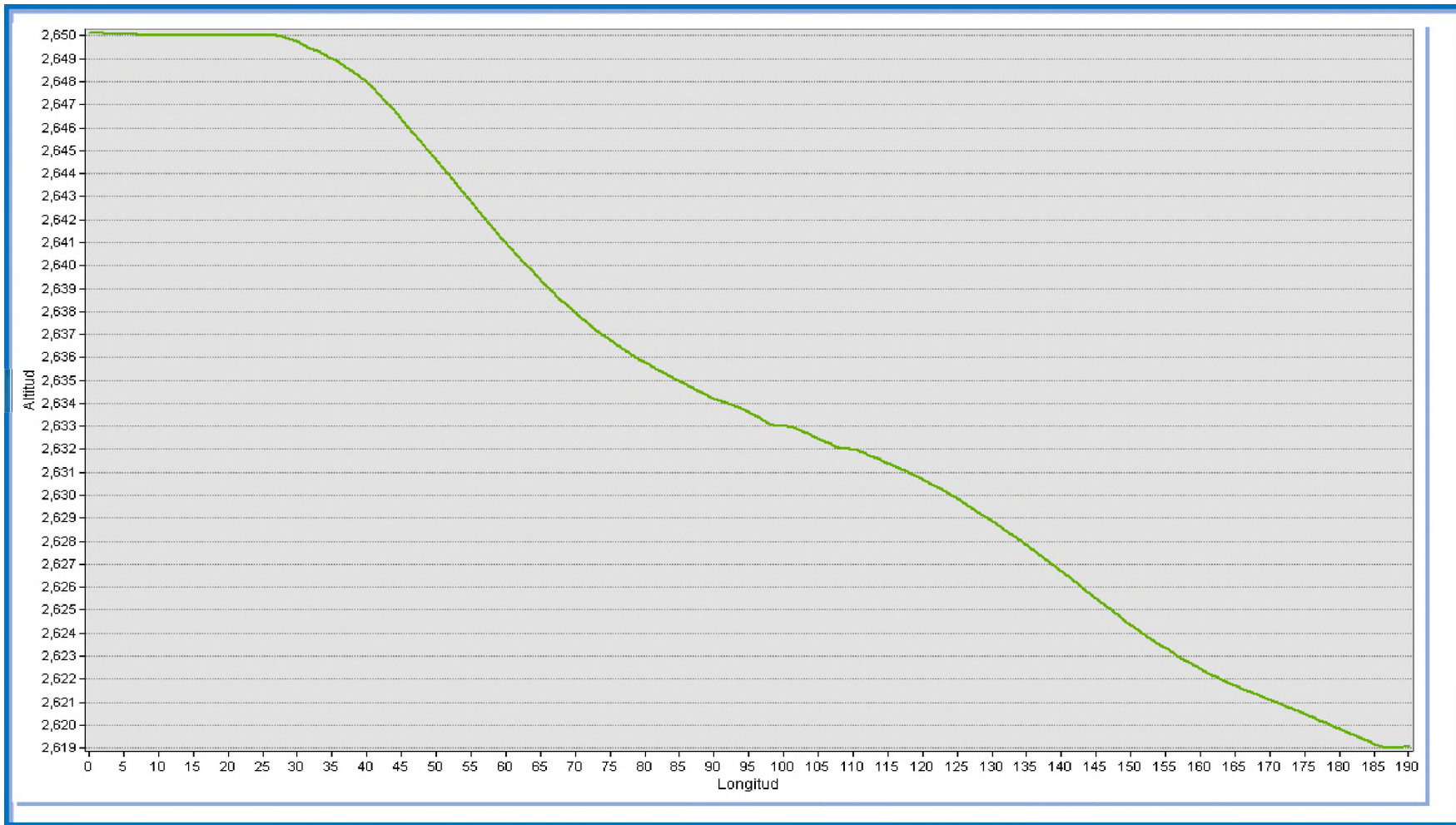


Figura 19: Perfil seleccionado para la modelación del talud

CAPÍTULO IV.- MODELIZACIÓN DEL TALUD

4.1 Análisis de la estabilidad de talud con plano de falla circular

Para el análisis de la estabilidad de la pendiente natural del terreno, se utilizó el software SLIDE 5.0 y PHASE 2, que son programas especializados que usan la teoría del equilibrio límite y el Método Tenso – Deformacional por medio de Elementos finitos respectivamente para computar el factor de seguridad de los taludes. Los dos software son pertenecientes al programa global Rocscience utilizable en todas las ramas de la ingeniería

El análisis se lo realizó sobre el perfil topográfico con curvas de nivel cada metro. 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 par 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.

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, el cual requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no es necesario datos sobre la relación esfuerzo y deformación que sufre un determinado material.

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.

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

4.2.1 Métodos de Bishop y Janbu

Son los métodos elegidos para la modelación, consisten en cortes realizados en una franja del talud, su análisis se basa 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 Slide (5.0)

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.

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.

Este software tiene las siguientes características:

- Aplica métodos de búsqueda de la superficie crítica para superficies de deslizamiento circular o no circular
- Aplica métodos de equilibrio como: Spencer, GLE/Morgenstern-Price, Janbu, Bishop, entre otros
- El análisis lo realiza con múltiples materiales, anisotrópicos, materiales no lineales, Mohr – Coulomb y otros
- Considera el agua subterránea, el factor de presión R_u , red de presiones de poros y la infiltración que se tenga en una zona
- Se puede modelar con cargas externas lineales, sísmicas o distribuidas
- Analiza las fuerzas de apoyo requeridas para casos específicos
- Vistas de todas y cada una de las superficies generadas
- Considera el ingreso de planos de falla conocidos
- Permite conocer el FS a lo largo de la superficie del talud seleccionado para la modelación
- Es compatible con software Phase 2.0 para comprobación de resultados

Con este software se realizó la modelación del talud, a su vez se utilizó el método de Bishop y Janbu como el de equilibrio límite.

4.4 Análisis por el Método Tenso – Deformacional

Este método se centra en la relación de tensión-deformación que se produce en un determinado material durante el proceso de deformación hasta llegar al punto de rotura.

En este proceso se generan varios estados tensionales en las distintas zonas del talud, permitiendo modelar este cambio a partir de un modelo geométrico representativo, incluyendo las características litológicas, freáticas entre otras que se tengan en el talud, obteniéndose valores correspondientes a los desplazamientos, deformaciones y tensiones que se van generando a partir de la resolución de las ecuaciones de plasticidad mediante el método de los elementos finitos.

4.4.1 Método de elementos finitos

Los Métodos de Elementos Finitos (MEF) brindan soluciones numéricas a un medio continuo sobre el cual está definido ciertas ecuaciones diferenciales en forma integral que caracterizan el comportamiento físico del problema dividiéndolo en un número de subdominios entre sí.

En el MEF existen conceptos como discretización, que es una partición del dominio del conjunto de elementos finitos. Los nodos son puntos representativos que se encuentran dentro de cada elemento, a su vez el conjunto de nodos se denomina malla.

4.4.2 Software Phase 2

Para el análisis se emplea al software Phase 2, este programa analiza diferentes tipos de proyectos, incluyendo la estabilidad de taludes en roca o suelo, utilizando el MEF para un análisis en 2D en un medio elasto - plástico. Con este programa se generó la malla y posteriormente se calculó los desplazamientos, deformaciones, tensiones que afectan al medio.

Con este software se realizó la modelación del talud con el siguiente procedimiento:

- La geometría y condiciones del perfil elegido se importa de Slide ya que este programa tiene a facilidad de extraer archivos entre sí.
- Se definen y asignan las propiedades físico – mecánicas de los materiales que conforman el talud.

Se asignan las condiciones de contorno que tiene el talud, en la base restricciones en ambos ejes (X – Y). En las paredes laterales restricciones al movimiento horizontal.

Posteriormente se continúa con el paso de discretización, se divide en partes más pequeñas al material para el análisis.

- Se procede con la formación de la malla, para este paso existen tres tipos de malla como opción que nos da el programa, gradual, uniforme o radial, para este caso la elección es uniforme.
- Se elige el tipo de triángulo para el mallado, en este caso triángulos de 6 nodos.
- Para el cálculo del factor de seguridad se activa la opción de reducción de resistencia al corte SSR, la cual es una reducción progresiva hasta producir la rotura del material.
- Al realizar este procedimiento se puede observar los desplazamientos, zonas de tensión, entre otros y analizarlos según la condición elegida.

4.5 Resultados obtenidos de los dos programas

Se procedió a modelar el perfil seleccionado denominado A – A, con el fin de conocer el factor de seguridad de la zona que se observa mayor problema en la capa de rodadura de la vía que se ve afectada por el movimiento del talud.

Para la generación del perfil se obtuvieron las coordenadas acorde a la topografía, los parámetros geotécnicos y físicos obtenidos en los ensayos de campo fueron los que se ingresaron en cada una de las características de las 3 capas que conforman el subsuelo del talud.

En primera instancia se realizó una modelación en condiciones actuales de la zona; de manera consecuente se generó una modelación con un posible evento sísmico utilizando los parámetros anteriormente descritos; luego se generó la modelación con una fluctuación del nivel freático, analizando los siguientes casos:

Por concepto de una lluvia con el nivel freático (NF) actuando sobre la superficie del talud, permitiendo escurrimiento del agua por las características topográficas de la zona y por las características geológicas un mínimo de infiltración

Por efectos netamente de infiltración, se modelo con el NF a 5 metros de profundidad desde la superficie del talud

Al igual que el caso b, por efectos de infiltración con el NF a 10 metros de profundidad, considerado desde la superficie

Estas condiciones de modelación fueron utilizadas en los dos programas seleccionados y con los métodos de análisis descritos para la modelación; en la tabla 12 se observa los resultados de los análisis efectuados, generándose FS diferentes para cada condición pero similares con los dos software utilizados

En la modelación por el Método de Equilibrio límite a más de encontrar los FS en función de las condiciones descritas se obtuvo también para el caso de las condiciones originales la variación del factor de seguridad a lo largo de la longitud analizada para los casos de Bishop y Janbu, de igual manera en los anexos correspondientes se observa el plano de falla circular generado y las dovelas analizadas.

Al modelar al talud con el Método Tenso – Deformacional se obtuvo el factor de seguridad a causa de los esfuerzo de Tensión – Deformación que sufren los elementos más pequeños que componen el talud, adicional se presentan los gráficos del material deslizado a causa de las diferentes condiciones analizadas.

En el anexo gráfico se observa lo expuesto anteriormente.

FACTORES DE SEGURIDAD DEL TALUD EN ESTUDIO, EN FUNCIÓN DE VARIABLES SÍSMICAS, DE NIVEL FREÁTICO Y CONDICIONES ORIGINALES PRESENTES EN LA ZONA			
PERFIL A - A	CONDICIONES DEL ANÁLISIS	FS EN FUNCIÓN DEL METODO APLICADO	
		MET. EQUI. LIMITE	MET. TENSO - DEFOR
	ANÁLISIS CONDICIONES ORIGINALES JANBU	1,099	1,03
	ANÁLISIS CONDICIONES ORIGINALES BISHOP	1,173	
	ANÁLISIS CON UN PROBABLE SISMO JANBU	0,571	0,58
	ANÁLISIS CON UN PROBABLE SISMO BISHOP	0,602	
	ANÁLISIS CON NF SOBRE LA SUPERFICIE JANBU	0,965	0,79
	ANÁLISIS CON NF SOBRE LA SUPERFICIE BISHOP	1,028	
	ANÁLISIS CON NF A 5 METROS DE PROFUNDIDAD JANBU	0,831	0,77
	ANÁLISIS CON NF A 5 METROS DE PROFUNDIDAD BISHOP	0,883	
ANÁLISIS CON NF A 10 METROS DE PROFUNDIDAD JANBU	1,099	1,03	
ANÁLISIS CON NF A 10 METROS DE PROFUNDIDAD BISHOP	1,173		

Tabla 11: Factores de seguridad encontrados en función de la modelación efectuada con los programas Slide (5.0) y Phase 2.

CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En función de la modelación realizada, sumado a las características geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas entre otras, descritos en el presente trabajo se tienen las siguientes conclusiones:

5.1.1 Aspectos Geológicos

El área de estudio, se encuentra estrechamente relacionado con la orogenia Andina y los procesos de subducción de la placa de Nazca con respecto a la corteza de la placa Sudamericana, como consecuencia de esto se han generado una serie de depósitos sedimentarios ubicados principalmente en la cordillera Real siendo el afloramiento principal en la zona de estudio la denominada Formación Loyola que se presenta como una formación geológica inestable, susceptible a deslizamientos y problemas de derrumbes como se evidencia a lo largo de la carretera y en la zona de estudio.

Del análisis de los factores de seguridad se desprende que el movimiento se da entre el contacto de los depósitos coluviales y la zona rocosa de la formación Loyola alternada con la formación Azogues

La geología de la zona permite la infiltración de aguas, lo que conlleva a un importante aumento de la presión de poros en zonas mal drenadas

La geología favorece a que la hipótesis planteada se compruebe

Aumenta las presiones intersticiales reduciendo la resistencia al corte del suelo.
Incrementa el peso del terreno por consiguiente aumentan los esfuerzos de corte.

Geomorfológicamente el sitio pertenece a una zona que forma un amplio valle de origen pluvial formado por quebradas

5.1.2 Aspectos Hidrológicos

El sitio pertenece a la cuenca del río Paute, influenciado por la topografía del sector que se evidencia quebradas cuyo caudal se presume se infiltra en las capas del sub suelo

De las visitas realizadas a la zona se observa que existe una zona al lado de la vía que permite la filtración de agua de manera directa al terreno lo que favorece al colapso del material que lo constituye y consecuente activación del movimiento en temporadas de lluvias, esto se evidencia en la fotografía 13. También se observa que en esta área existe material granular que favorece a la infiltración.

El líquido infiltrado sumado a las características geológicas de la zona propicia a la desestabilidad del talud en estudio



Fotografía 13: Zona donde se produce infiltración
Elaborado: Byron Quezada
Fecha: Agosto 2015

5.1.3 Aspectos Geotécnicos

Los suelos superficialmente en el área del proyecto se encuentran constituidos por depósitos coluviales, en general por limos arenosos, arenas limosas y arcillosas y gravas limosas inorgánicas de mediana de compacidades que varían de muy suelta a densa mejorando conforme se profundiza en el estrato. En los sondeos realizados no se evidencio Nivel freático pero no así en las visitas en donde se observa que al final del talud existe alta presencia de agua

En lo referente a los factores de seguridad encontrados en las diferentes condiciones analizadas en el perfil A – A se concluye lo siguiente

En el perfil A – A en su condición original, presenta una superficie con problemas de estabilidad entre las cotas 2620 m.s.n.m y la 2650 m.s.n.m., esto fue corroborado por el programa Phase 2, mismo que también identifica una zona de problemas en este perfil en las mismas cotas. Aproximadamente en la cota 2650 m.s.n.m se encuentra la vía Monay – Paccha, la misma presenta problemas por el movimiento del talud, el factor de seguridad observado para esta condición nos indica que el talud está al límite de su equilibrio, lo recomendable para zonas pobladas es que el talud tenga un FS superior a 1.3.

Se observa que a lo largo de la superficie del talud en estudio el FS es variable, presentándose entre las cotas mencionadas en el párrafo anterior sus más bajos valores en la modelación

En condiciones pseudoestáticas analizando con aceleraciones correspondientes a un sismo de grado de 8.35 el talud presentan un colapso total en su equilibrio, esto se evidenció con los dos programas utilizados en la modelación.

En función del Nivel Freático sobre la superficie del talud, estadísticamente probable con una lluvia intensa se observa que el factor de seguridad disminuye de la unidad (Janbu – Phase 2) y con el método Bishop está al límite de su equilibrio. Esto es corroborado por el movimiento y

deterioro de la vía que se presenta en épocas de invierno, el agua de lluvia se infiltra en las capas del suelo generando el movimiento.

Con el nivel freático a una profundidad de 5 metros desde la superficie los resultados del Factor de Seguridad fueron muy perjudiciales a la estabilidad del perfil A – A, presentando un colapso con un FS promedio de 0.80 con lo cual afectaría toda la zona. Este nivel freático se debe a infiltraciones en la zona a más de corrientes de agua superficial que pueden estar presentes en la zona

Con el nivel freático a 10 metros de profundidad desde la superficie, el talud se presenta en similares condiciones que en su estado original, esto debido a que en las capas que conforman el suelo bajo los 10 metros se consideró roca, lo cual no afecta a la estabilidad del talud.

La posible infiltración del líquido en el talud, generando un sobre peso al mismo y una disminución de su resistencia.

Existe la posibilidad que la tubería de agua que se pasa a 2 metros de la vía presente algún deterioro y por ende fugas del líquido que a su vez favorecerían al deslizamiento conforme se observó la modelación con nivel freático

La estabilidad de la zona vulnerable expresada 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 dichos suelos, por tal motivo el cambio de la geometría del talud es fundamental para mantener el equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras.

5.1.4 Conclusiones generales

Con los análisis realizados, en función de la información bibliográfica revisada, ensayos de laboratorio y visitas al campo realizadas se puede manifestar que las condiciones que generan el movimiento en forma general esta regidas por:

Las características geológicas de la zona, siendo la Formación Loyola una formación geológica que favorece a problemas de estabilidad

LA infiltración del agua que disminuye notoriamente la resistencia al cortante del suelo y que fue corroborado por los programas utilizados

Se concluye también que los objetivos generales, específicos e hipótesis planteada al inicio del presente trabajo fueron demostrados en su totalidad, esto es:

Se analizó la estabilidad actual de la Ladera localizada en la abscisa 5 + 200 vía Monay – Baguanchi – Paccha, sector San Miguel de Baguanchi del Cantón Cuenca, Provincia del Azuay considerada como área de riesgo para la población que utiliza la mencionada vía. Posteriormente al análisis global en el literal 5.2 se da alternativas de solución acorde al factor desencadenante principal que produce la inestabilidad.

- Se analizaron los factores que provocan un cambio de equilibrio entre las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras tanto de efecto permanente como de efecto temporal en la Ladera de la vía Monay- Baguanchi - Paccha.
- Se analizaron y utilizaron los datos recopilados tanto Geológicos – Geotécnicos así como Hidrológicos de la zona
- Se analizaron en el laboratorio las muestras de suelo extraídas, encontrando los parámetros físicos – mecánicos del talud

- Se caracterizó el deslizamiento
- Se modeló el deslizamiento 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.
- Se recomiendan medidas estabilizadora en base al / los factor (es) desencadenante asumidos como los de mayor incidencia para el deslizamiento.

5.2 Recomendaciones de Estabilización

El buscar posibles infiltraciones de agua que provocan la saturación del subsuelo es imprescindible, más aún cuando la topografía de la zona se evidencia una gran cantidad de agua que erosiona los coluviones que se observan en la vía, provocando un desprendimiento de material que está afectando a la vía y poniendo en serio riesgo las viviendas construidas en el sector; en virtud de ello se recomienda:

Realizar sistemas de drenaje al borde de la vía que permitan captar el agua proveniente de la lluvia y canalizarla hacia las redes de alcantarillado presentes en la zona.

Buscar posibles fugas de los sistemas hidrosanitarios presentes en la zona de estudio, tanto de la parte alta como de la zona donde se encuentra plasmada la vía.

Construir una escollera al margen de la carretera, lo cual ayudará a impedir el movimiento y mantener firme las diferentes capas de rodadura que conforman la vía.

Generar cunetas y dar mantenimiento a las existentes en la vía, lo cual ayudará a evitar la infiltración proveniente de aguas lluvias.

No es recomendable cambiar la geometría del talud.

Es recomendable realizar una siembra de vegetación que ayude a disminuir el nivel de agua presente en las capas del subsuelo.

Limpiar el material sedimentario que no permite el cauce normal del agua en las quebradas presentes en la zona.

5.3 Futuras líneas de investigación

Como futura línea de investigación se recomienda 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 nos 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.

REFERENCIAS:

1. Gonzales de Vallejo E, Ferrer, Ortuño, Oteo.: INGENIERIA GEOLOGICA. PEARSON / PRENTICE HALL, 744, (2002).
2. Nuñez Del Arco. GEOLOGIA DEL ECUADOR. Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, **253**, (2003).
3. Vásconez F, Análisis de la Peligrosidad de Grandes Deslizamientos en la República del Ecuador, Facultad de Geo – Ciencias, Universidad de Johannes Gutenberg – Maguncia, Junio del 2000.
4. SUAREZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. (1998).
5. Braja M.: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, THOMSON LEARNING, **594**, 115, (1999).
6. SUAREZ, Jaime. Deslizamientos, ANALISIS GEOTECNICO, Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. **582**, 75, (1998).
7. 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).
8. ALVAREZ, Alfonso. Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería Civil, Instituto Mexicano del transporte. **83**, 48, 49, (2003).
9. ROCSCIENCE. SLIDE 5.0.: Guía rápida del usuario. 2010.
ROCSCIENCE. PHASE 2.: Guía rápida del usuario. 2010.

GRÁFICOS MODELACIÓN

ANEXO N.º 1

**MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIONES ORIGINALES
METODO DE EQUILIBRIO LÍMITE**

BISHOP – JANBU

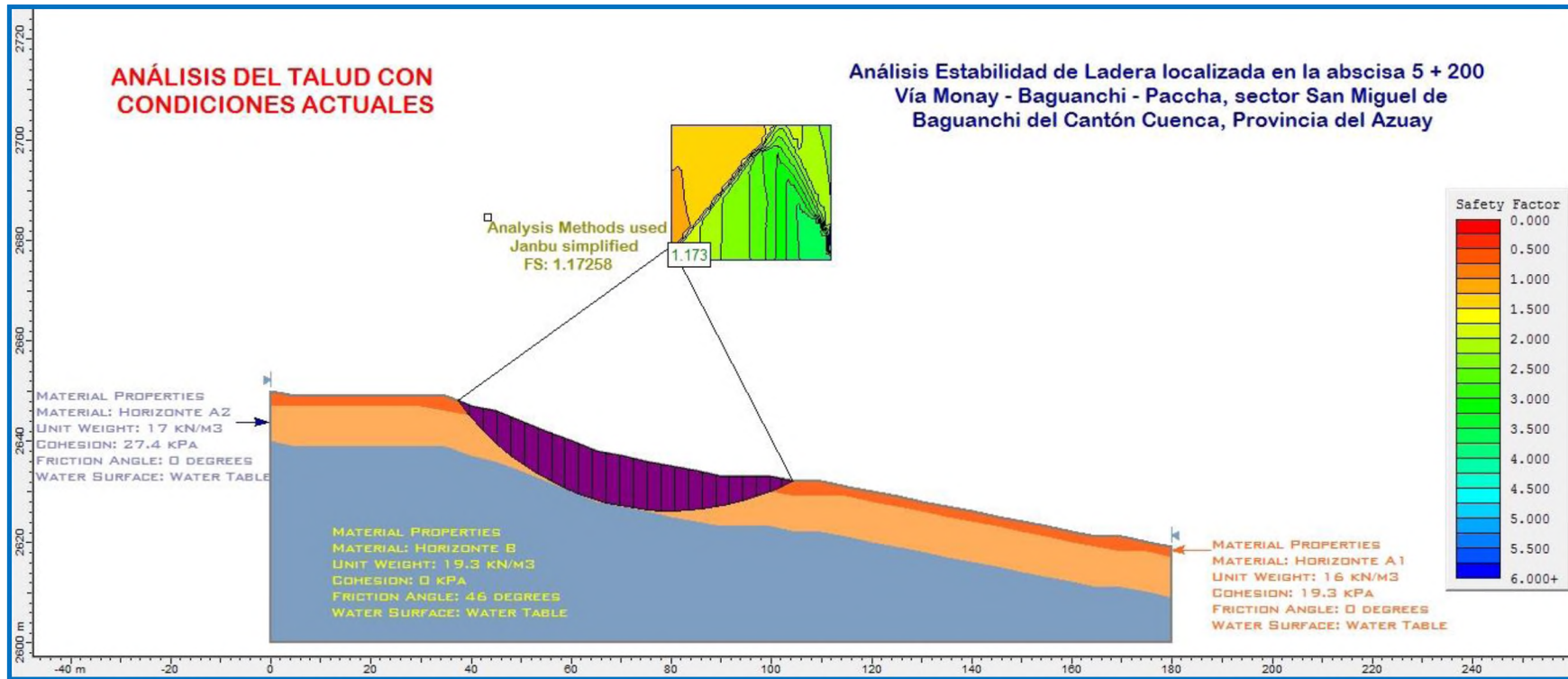


Gráfico 1: Plano de falla circular y dovelas analizadas con el Método Bishop

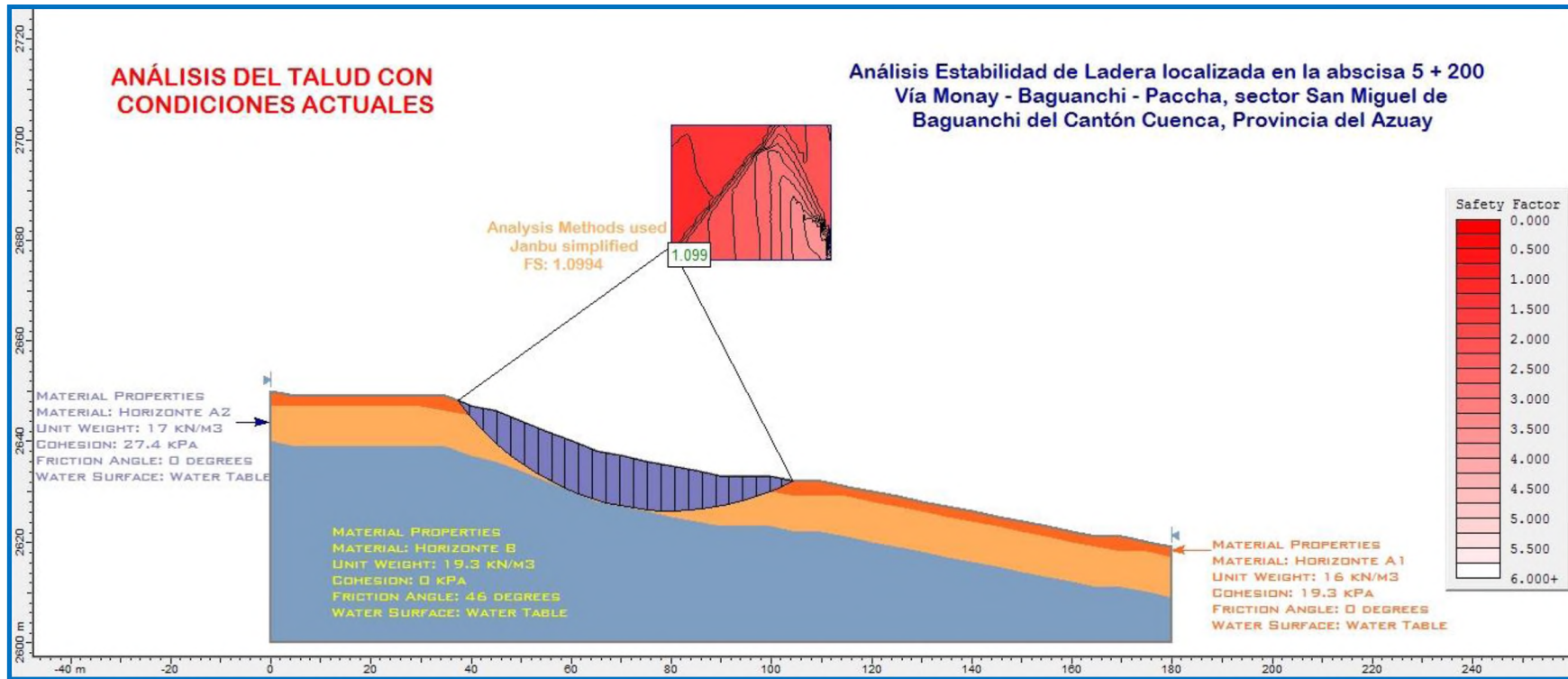


Gráfico 2: Plano de falla circular y dovelas analizadas con el Método Janbu

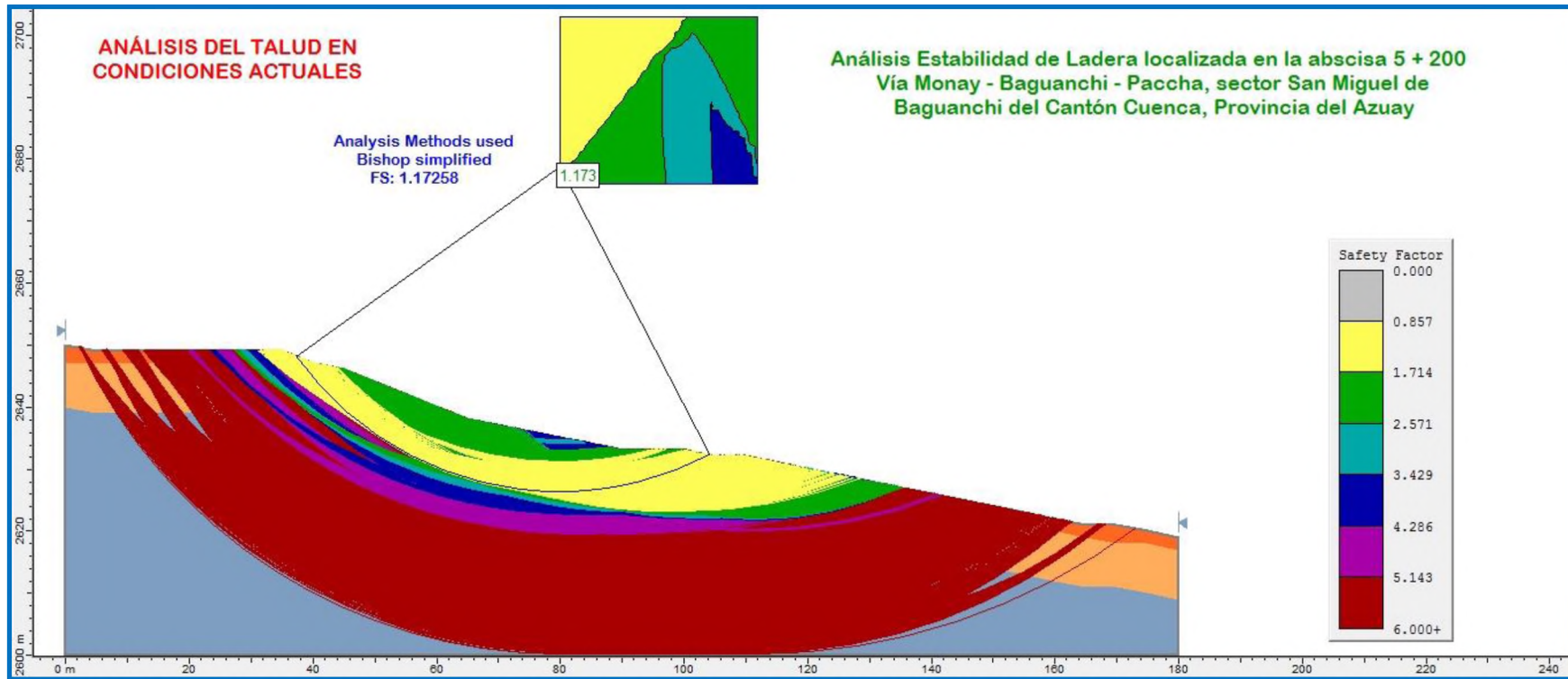


Gráfico 3: Planos de falla encontrados en condiciones originales y factor de seguridad con el Método Bishop

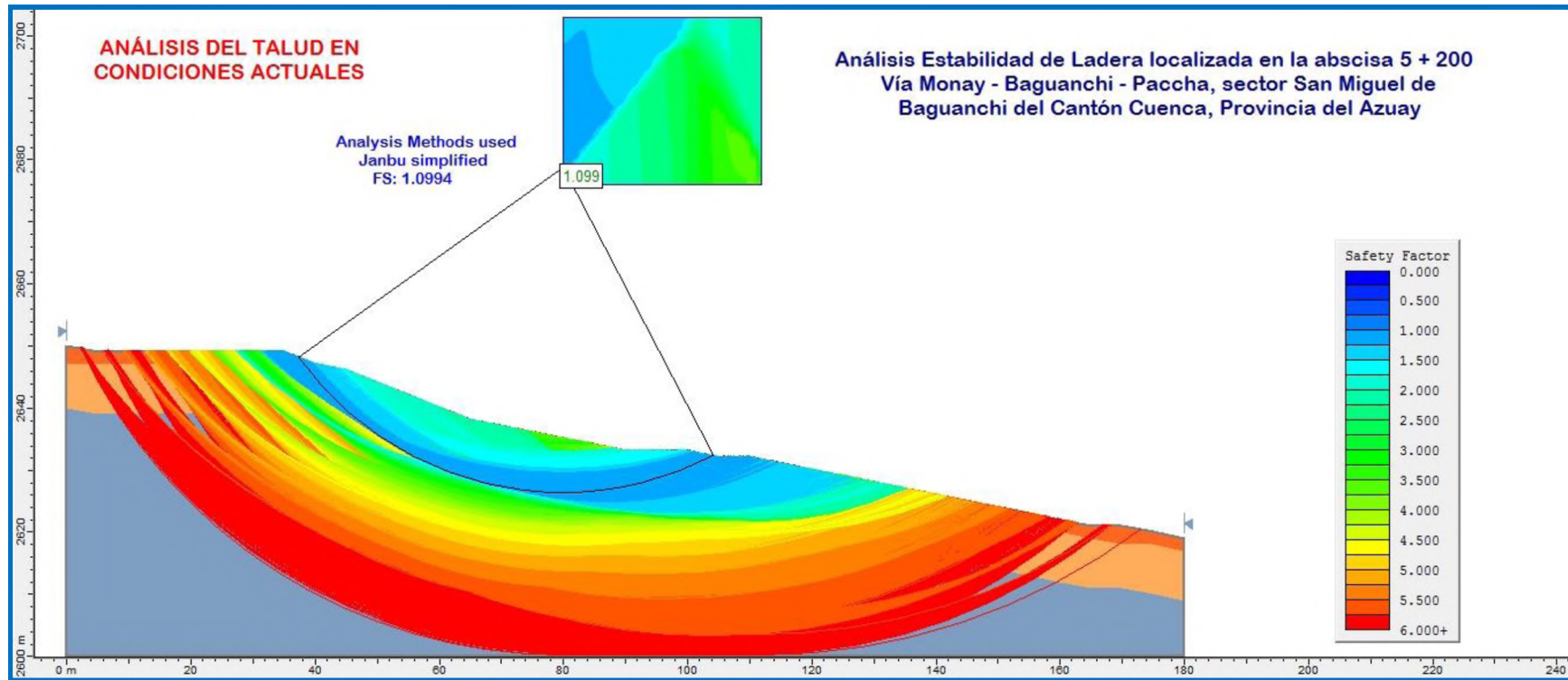


Gráfico 4: Planos de falla encontrados en condiciones originales y factor de seguridad con el Método Janbu

VARIACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD A LO LARGO DEL TALUD MODELADO MÉTODO DE BISHOP

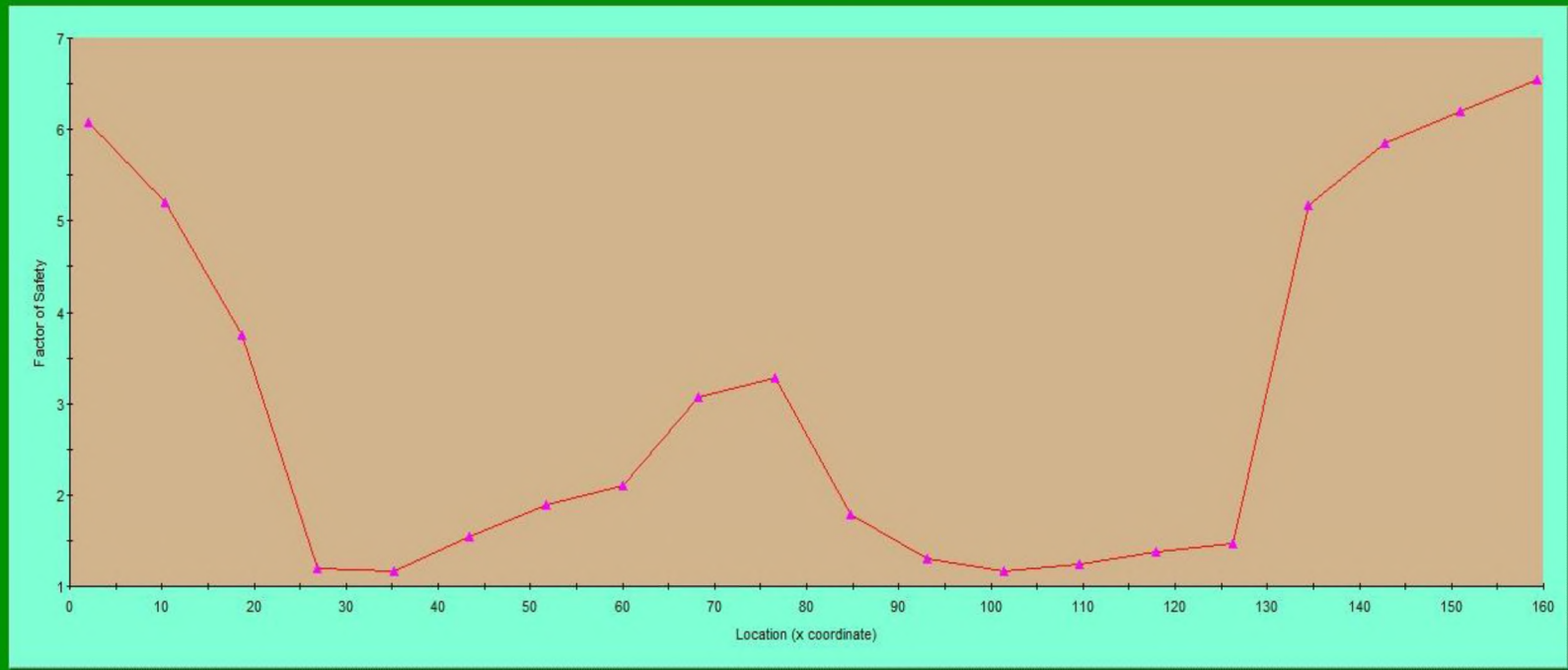


Gráfico 5: Variación del factor de seguridad a lo largo del talud analizado con el Método Bishop

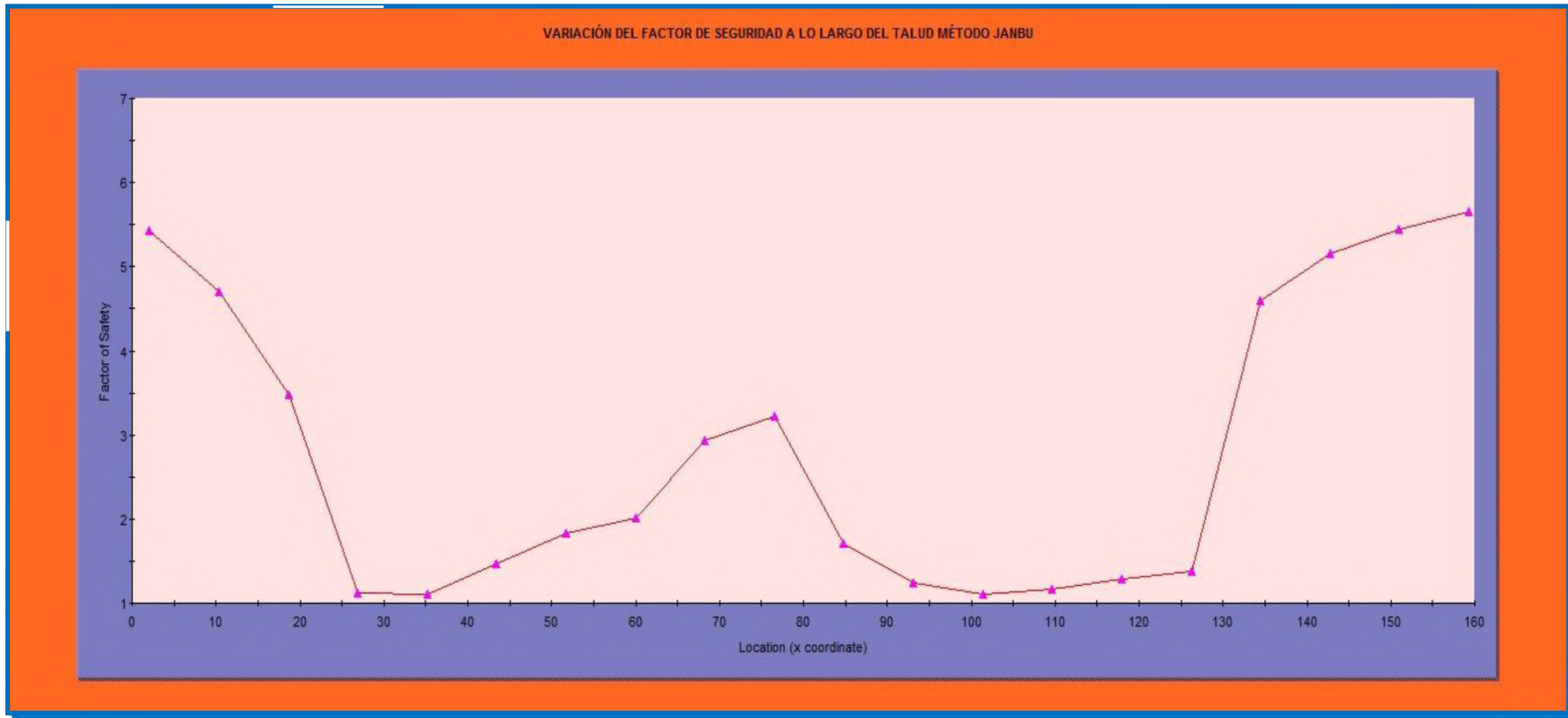


Gráfico 6: Variación del factor de seguridad a lo largo del talud analizado con el Método Janbu

**MODELACIÓN DEL TALUD CONDICIONES ORIGINALES
METODO TENSO DEFORMACIONAL**

ELEMENTOS FINITOS

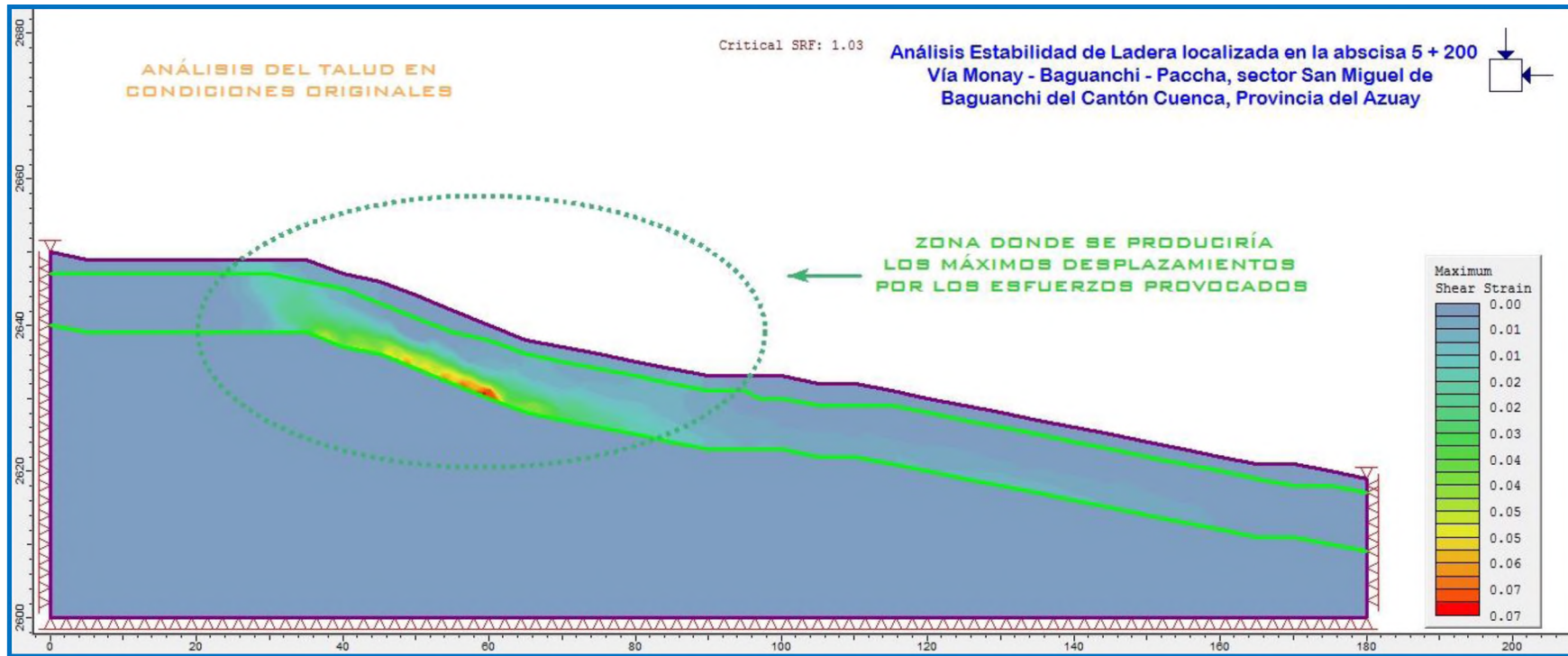


Gráfico 7: Zonas de máxima Tensión – Deformación que se presentan en el talud y factor de seguridad encontrado

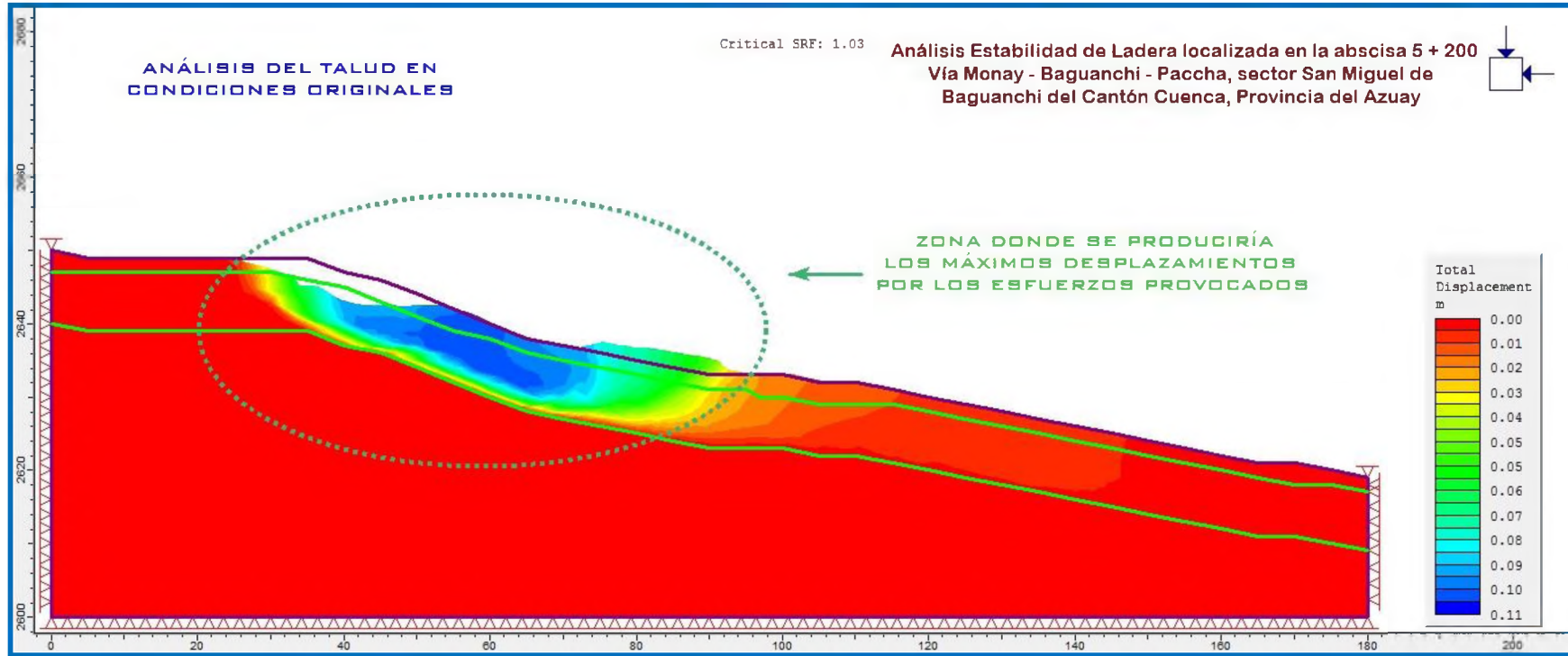


Gráfico 8: Zonas donde se produciría los desplazamientos de material por el colapso del talud

MODELACIÓN DEL TALUD CON EFECTO SÍSMICO MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

BISHOP – JANBU

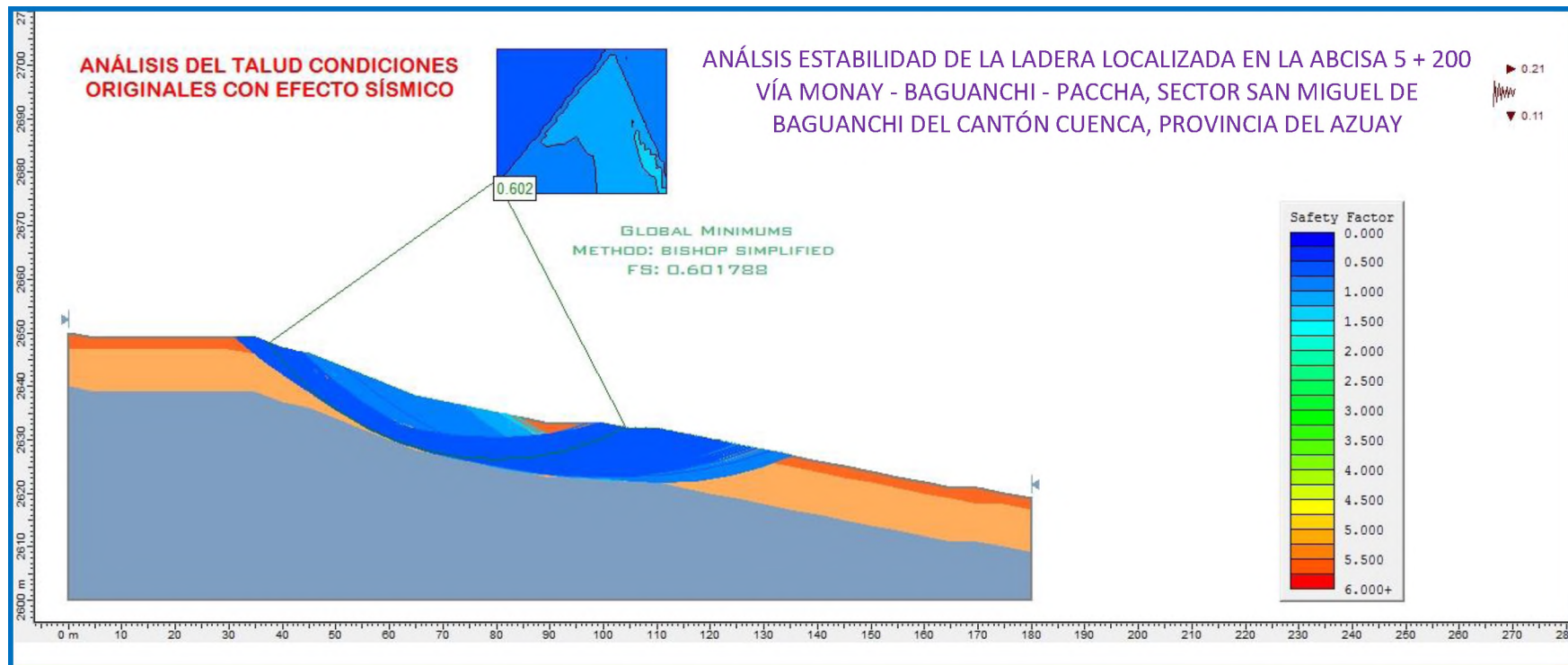


Gráfico 9: Análisis del talud con efecto de un sismo, Método de Bishop

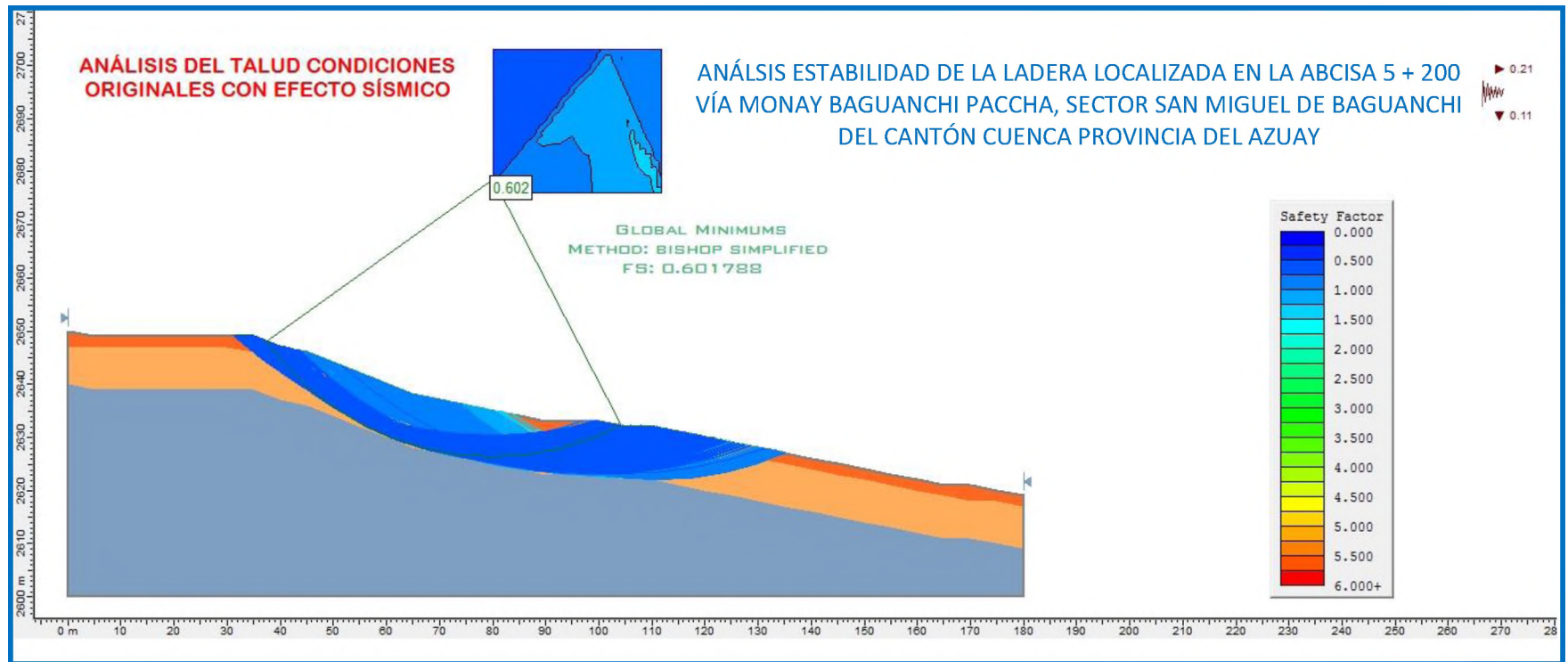


Gráfico 10: Análisis del talud con efecto de un sismo, Método de Janbu

MODELACIÓN DEL TALUD CON EFECTO SÍSMICO MÉTODO TENSO - DEFORMACIONAL

ELEMENTOS FINITOS

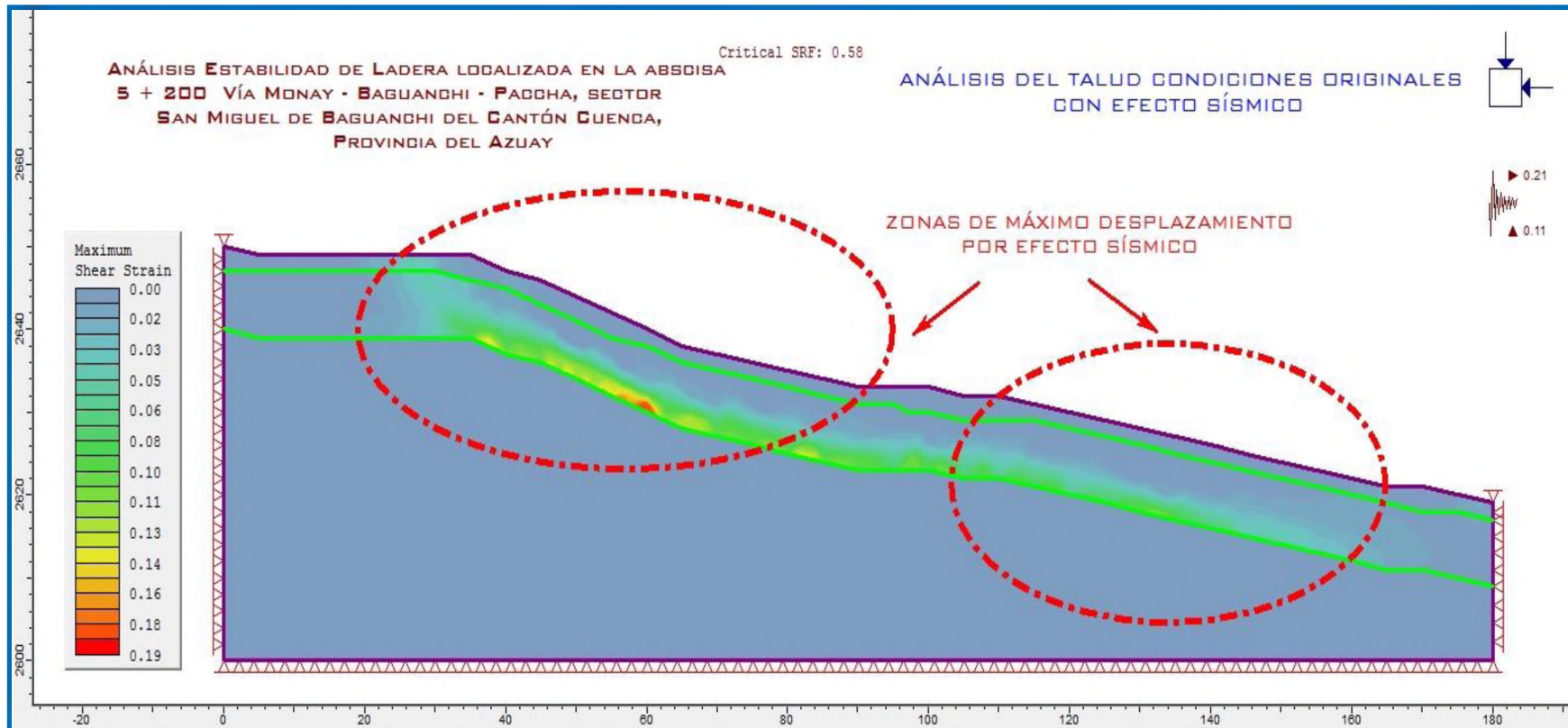


Gráfico 11: Análisis del talud con efecto de un sismo, Máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados

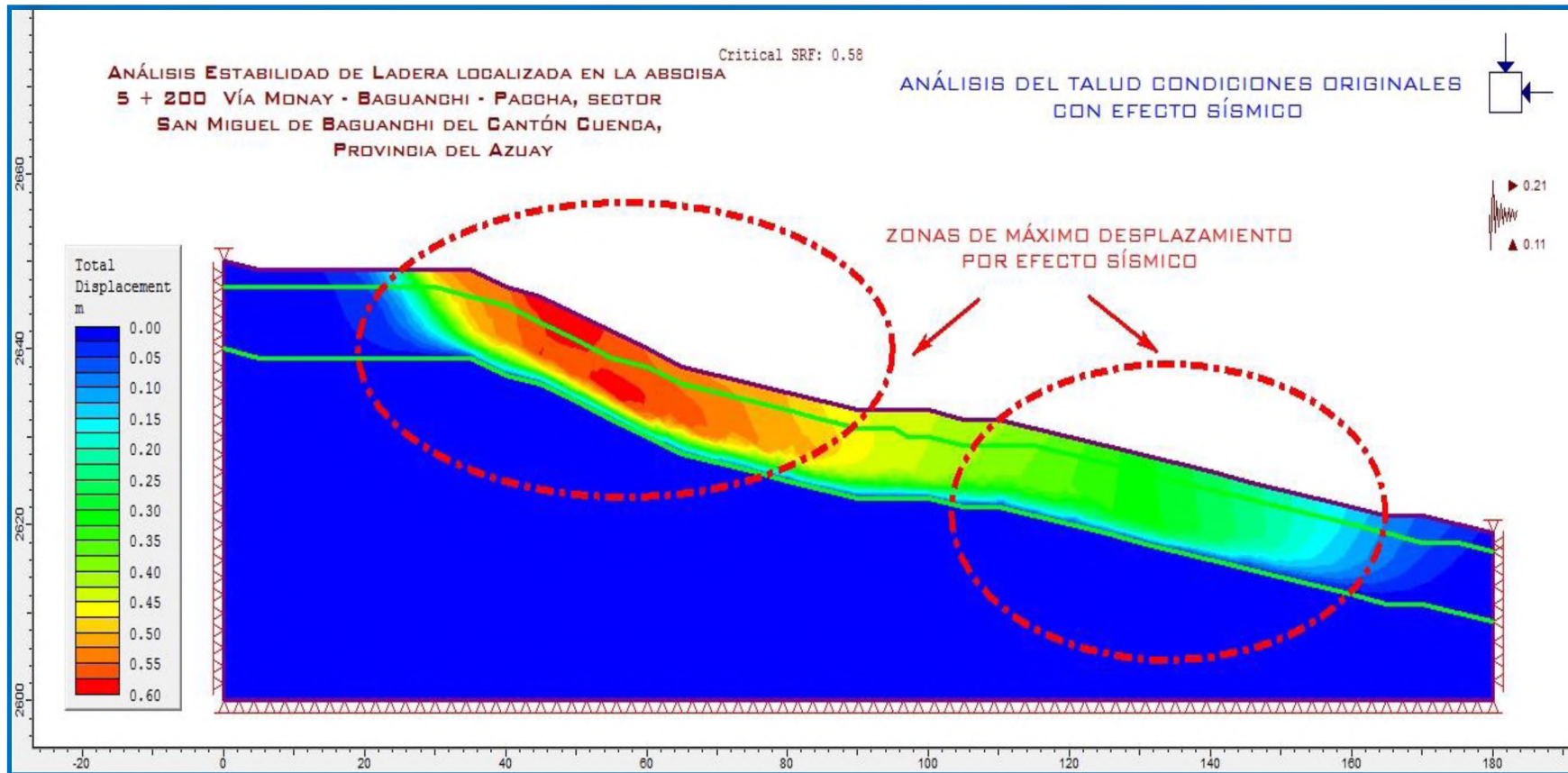


Gráfico 12: Análisis del talud con efecto de un sismo, zonas donde se produciría desplazamiento de material

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
SOBRE LA SUPERFICIE
MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE**

BISHOP – JANBU

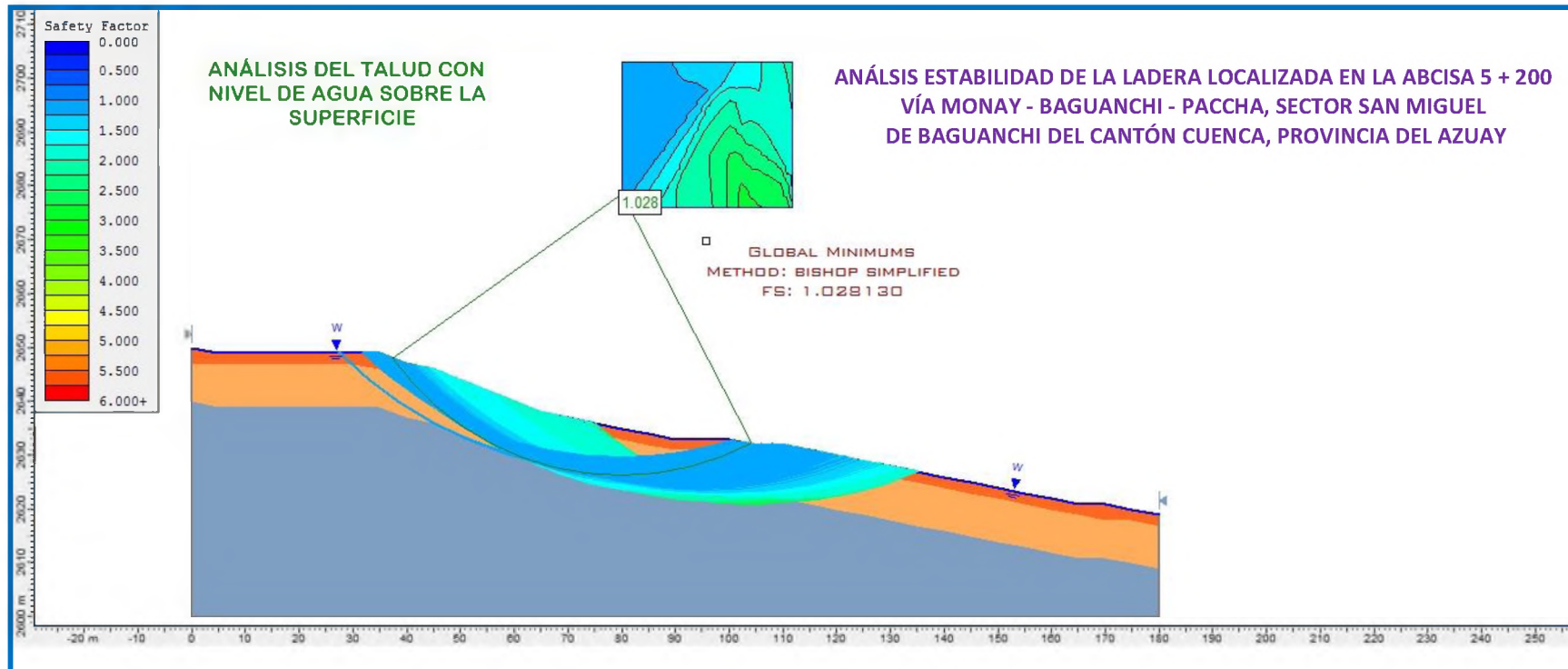


Gráfico 13: Análisis del talud con nivel freático sobre la superficie, Método de Bishop

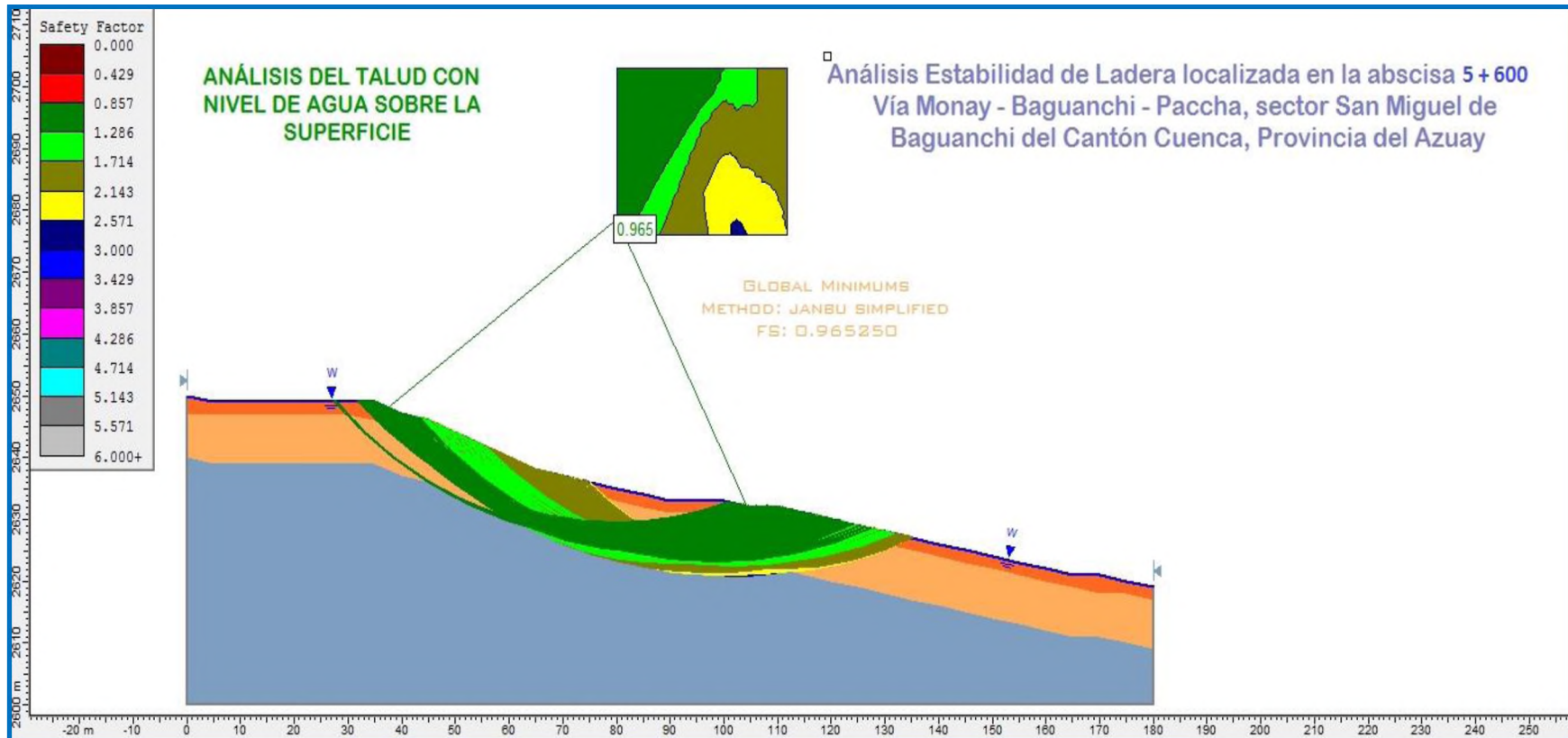


Gráfico 14: Análisis del talud con nivel freático sobre la superficie, Método de Janbu

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
SOBRE LA SUPERFICIE
MÉTODO TENSO - DEFORMACIONAL
ELEMENTOS FINITOS**

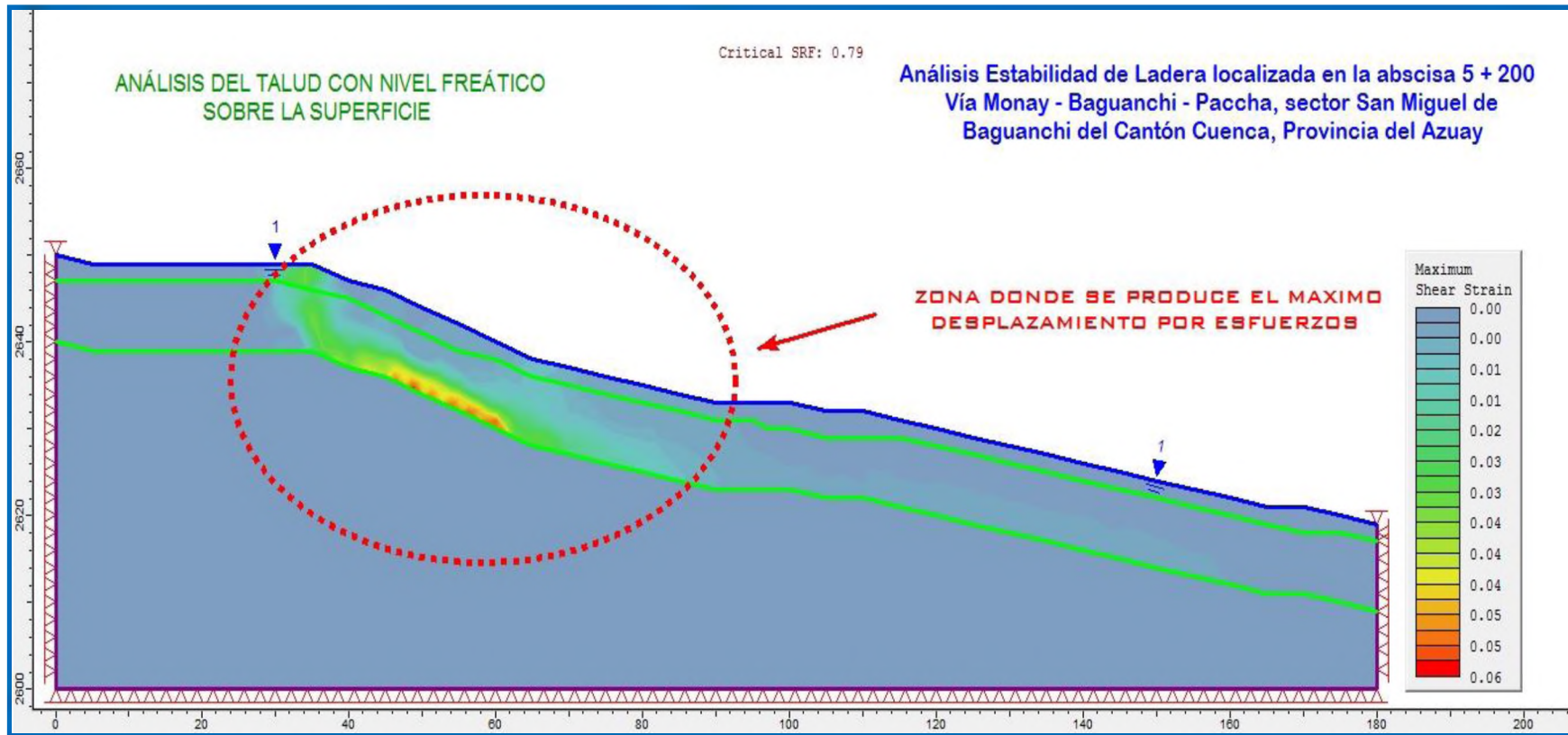


Gráfico 15: Análisis con efecto del nivel freático sobre el talud, máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados

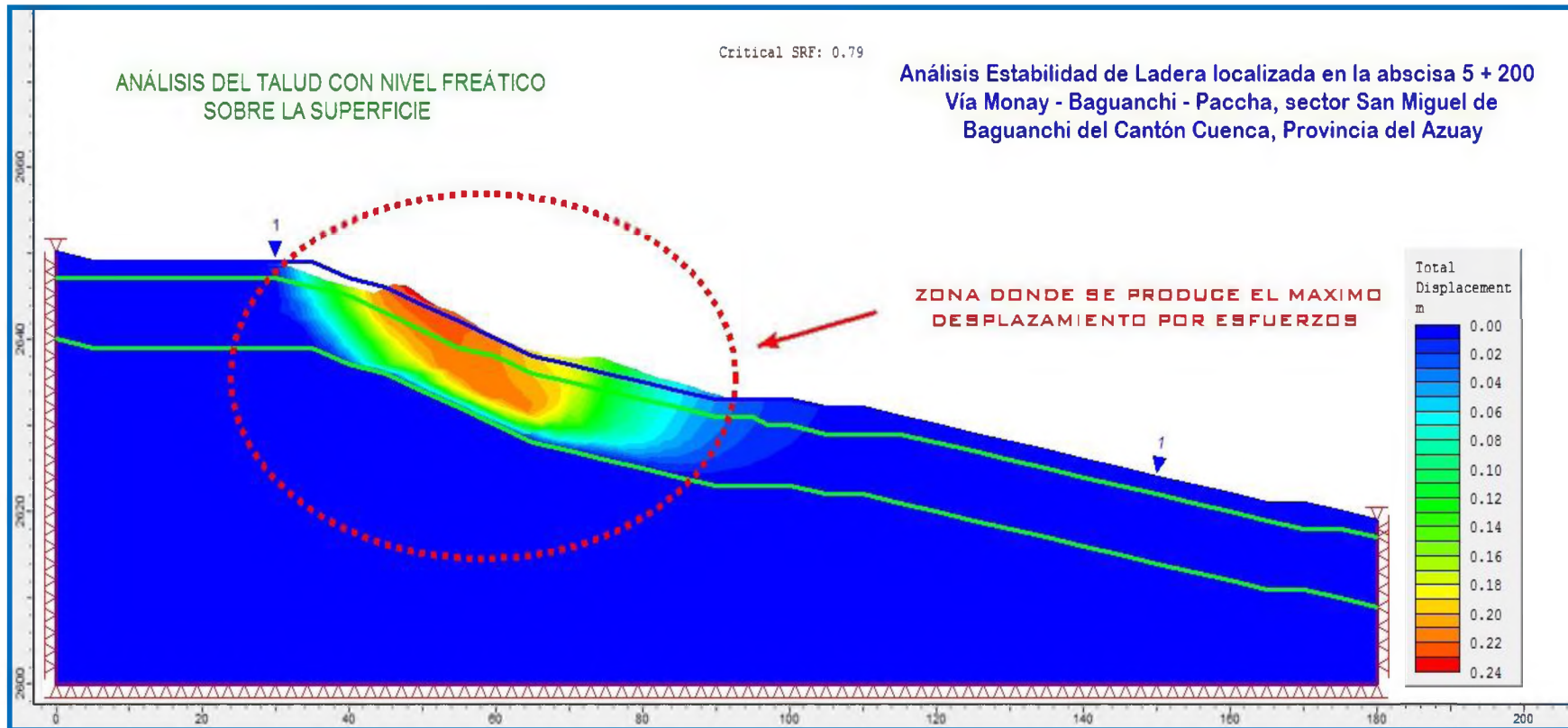


Gráfico 16: Análisis con efecto del nivel freático sobre el talud, zonas donde se producen los máximos desplazamientos

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
A 5 METROS BAJO LA SUPERFICIE
MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE**

BISHOP – JANBU

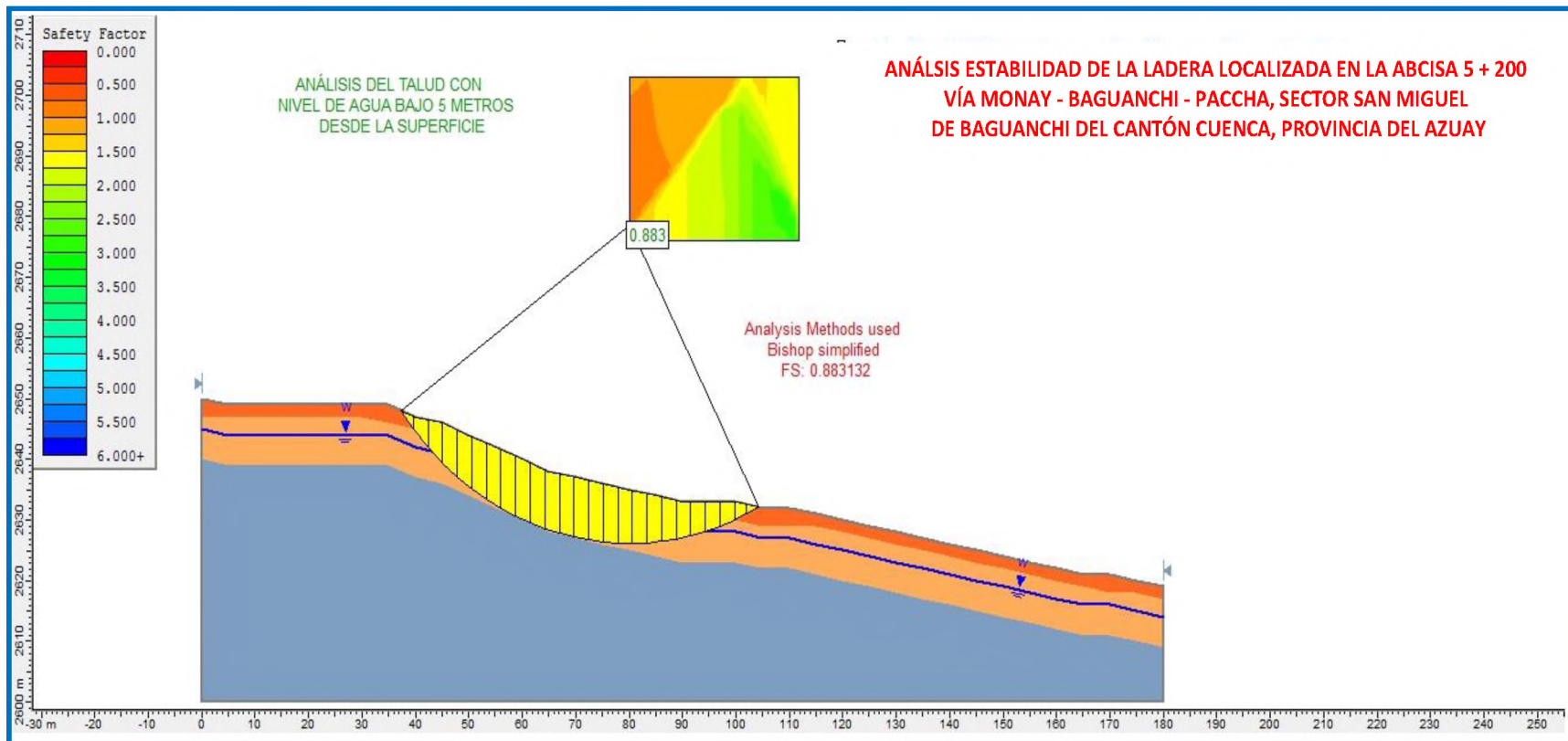


Gráfico 17: Análisis del talud con nivel freático a 5 metros de la superficie, Método de Bishop

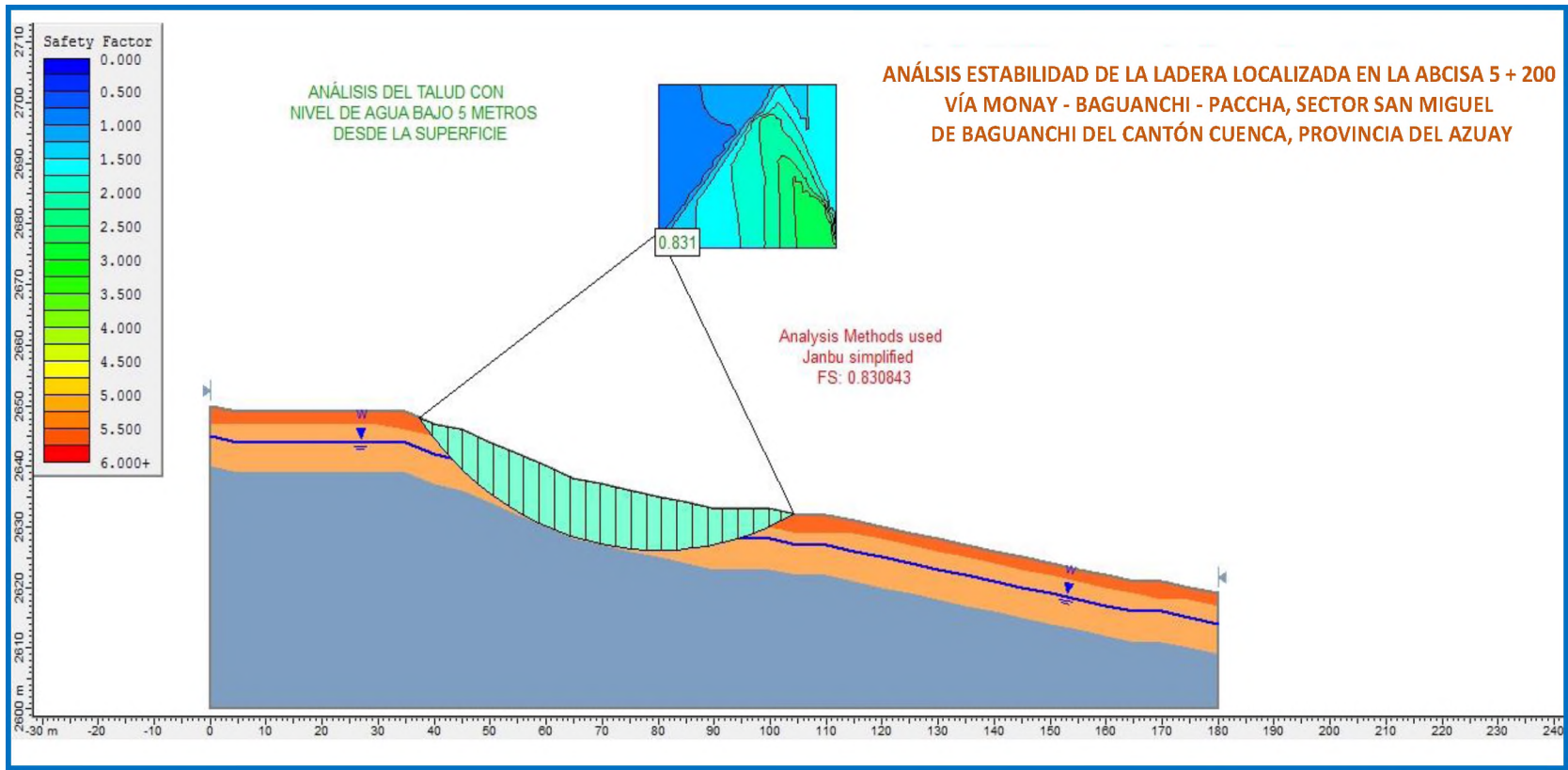


Gráfico 18: Análisis del talud con nivel freático a 5 metros de la superficie, Método de Janbu

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
A 5 METROS DE LA SUPERFICIE
MÉTODO TENSO - DEFORMACIONAL**

ELEMENTOS FINITOS

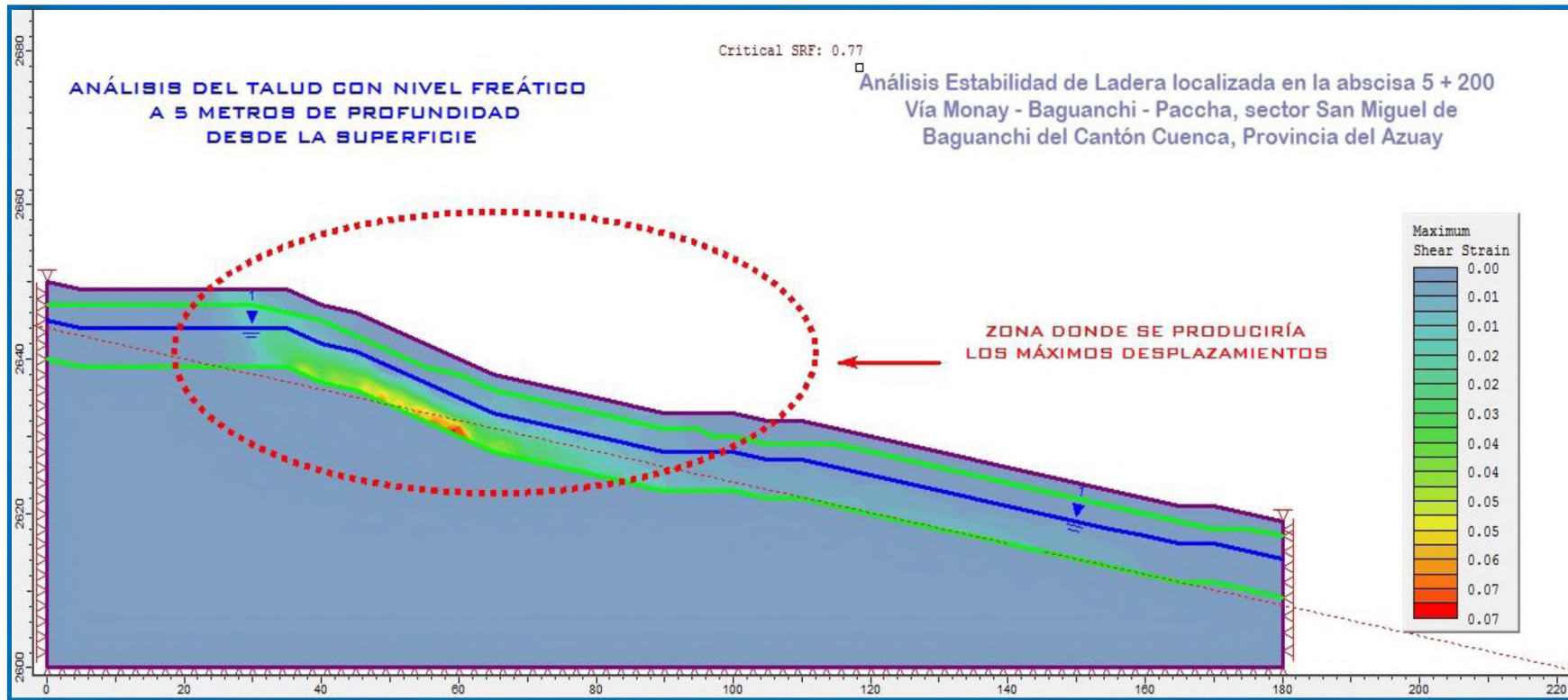


Gráfico 19: Análisis por efecto del nivel freático a 5 metros de la superficie, máximos esfuerzos de Tensión - Deformación localizados

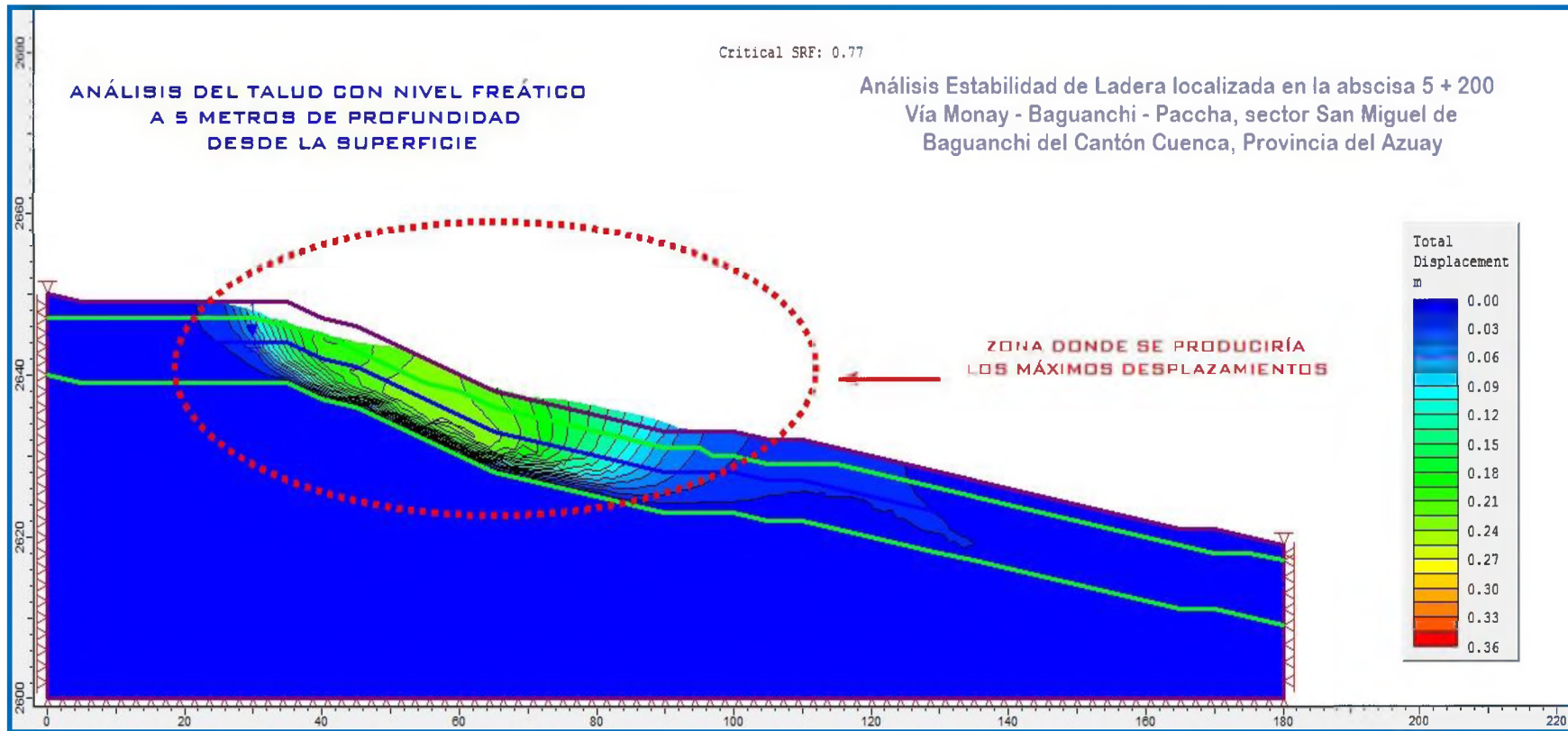


Gráfico 20: Análisis por efecto del nivel freático a 5 metros de la superficie, máximas zonas de desplazamiento de material

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
A 10 METROS BAJO LA SUPERFICIE
MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE**

BISHOP – JANBU

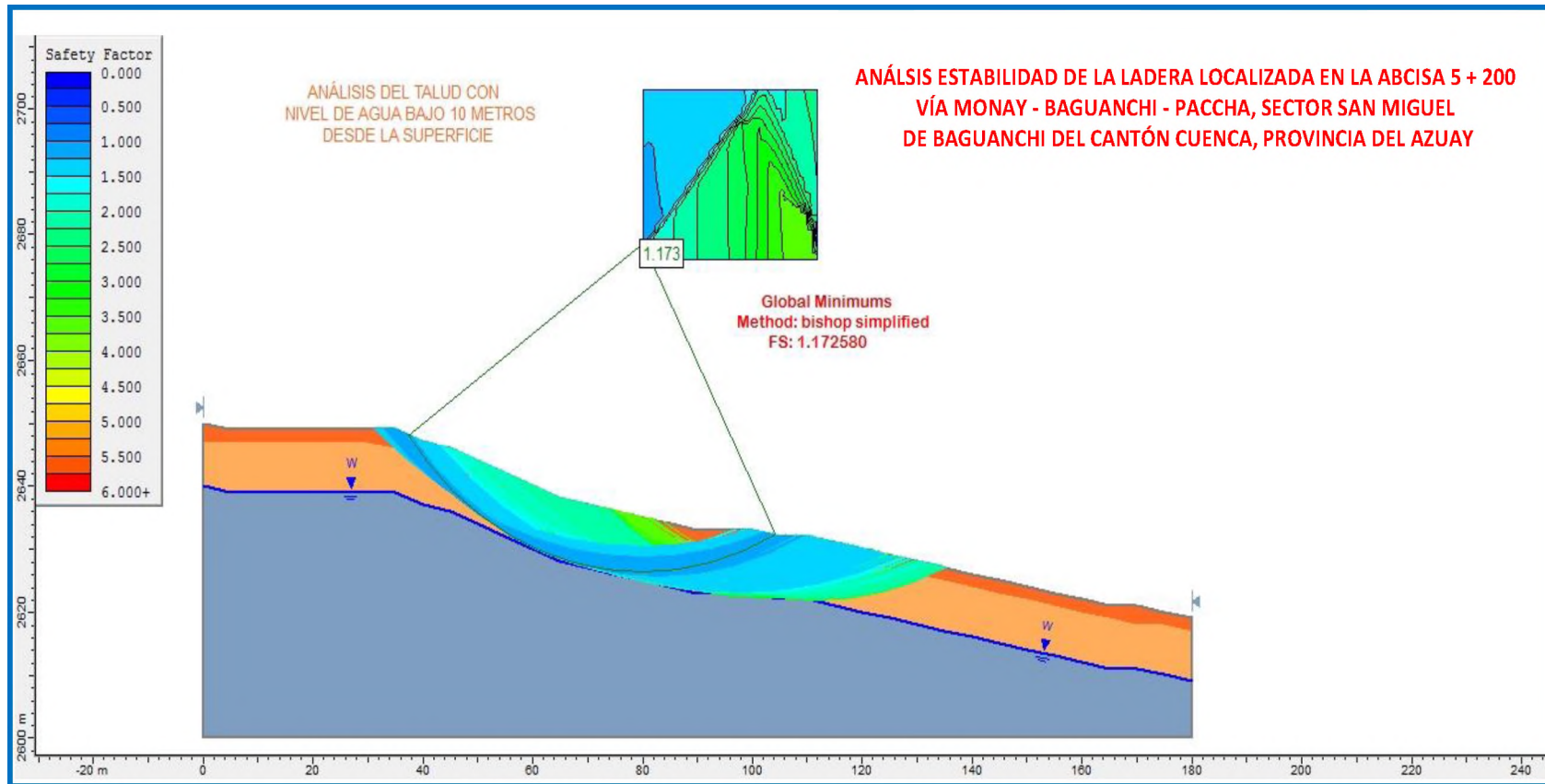


Gráfico 21: Análisis del talud con nivel freático a 10 metros de la superficie, Método de Bishop

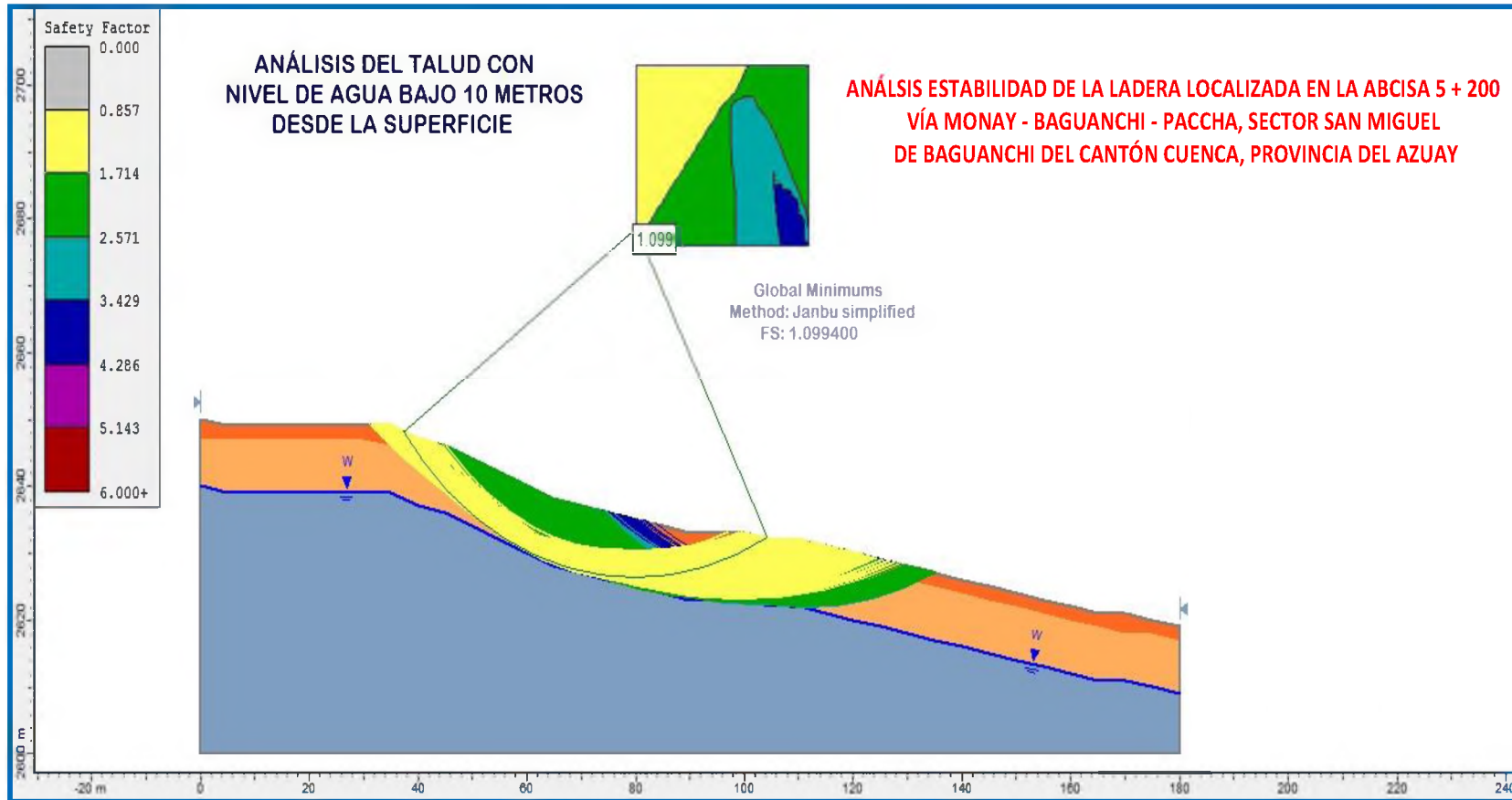


Gráfico 22: Análisis del talud con nivel freático a 10 metros de la superficie, Método de Janbu

**MODELACIÓN DEL TALUD CON NIVEL FREÁTICO
A 10 METROS DE LA SUPERFICIE
MÉTODO TENSO - DEFORMACIONAL
ELEMENTOS FINITOS**

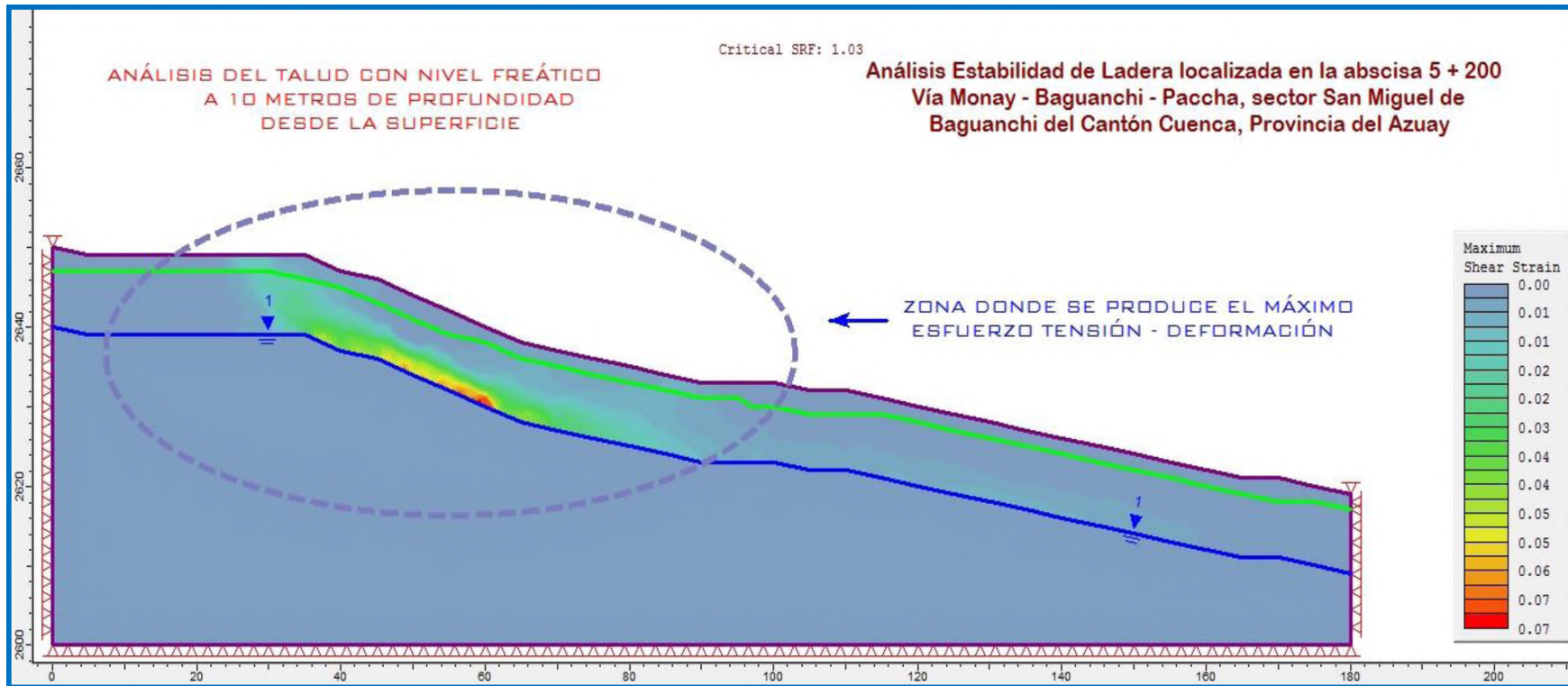


Gráfico 23: Análisis por efecto del nivel freático a 10 metros de la superficie, máximos esfuerzos de Tensión – Deformación localizados

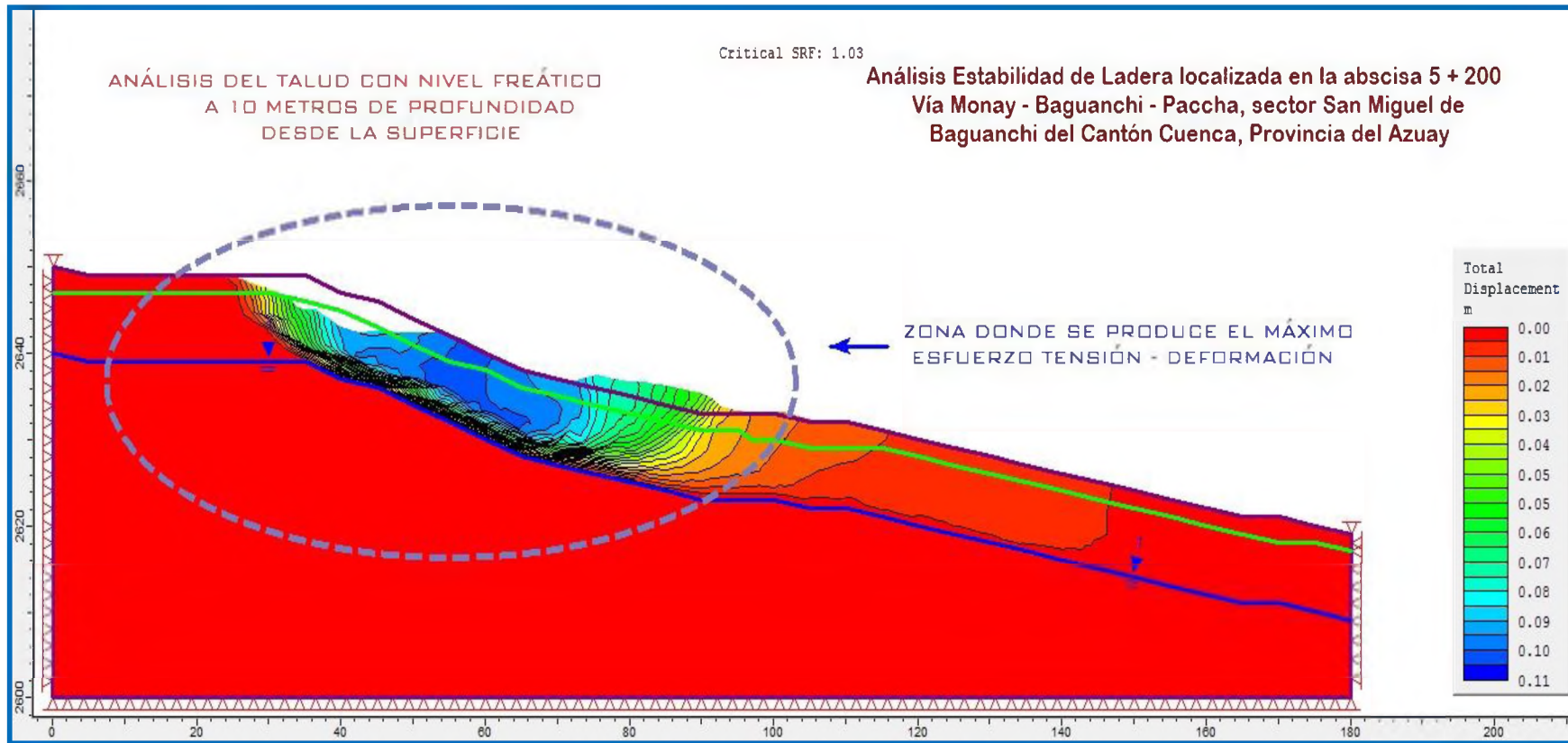


Gráfico 24: Análisis por efecto del nivel freático a 10 metros de la superficie, máximas zonas de desplazamiento de material

ANEXO N°2

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



SIMBOLOGÍA	
	ALCANTARILLA
	CURVA DE NIVEL MENOR
	CURVA DE NIVEL MAYOR
	ALINEAMIENTO DEL PERFIL
	VIA
	EJE DE VIA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

ESCALA : 1:500

ANÁLISIS ESTABILIDAD DE LADERA LOCALIZADA EN LA ABS 5+200
VIA MONAY - BAGUANCHI - PACCHA, SECTOR SAN MIGUEL DE
BAGUANCHI DEL CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY



DISEÑO: BYRON XAVIER QUEZADA SÁNCHEZ
DIGITALIZACIÓN: BYRON XAVIER QUEZADA SÁNCHEZ
REVISIÓN: ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ Mgs.

ING. LUIS MARIO ALMACHE SÁNCHEZ Mgs.

CONTIENE:
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

CUENCA, DICIEMBRE DE 2015.

HOJA : 1/1

