



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

**“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA VÍA MACAS –
PUYO, MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE EN EL
TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS ABSCISAS 0+550 HASTA
1+450”**

Trabajo de titulación presentado previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

AUTOR:
ESPÍN CAMPOS JORGE RONNY

Macas - Ecuador

2016

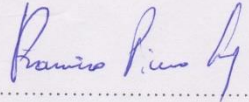
APROBACION DEL TRIBUNAL

El Tribunal del Trabajo Experimental de Titulación constituido por el Ing. Marco Mejía he Ing. Ramiro Pino, luego de receptar la presentación del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Titulo de Ingeniero en Geología y Minas cuyo tema es: **“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DE LA VÍA MACAS – PUYO, MEDIANTE EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS ABSCISAS 0+550 HASTA 1+450”** elaborado por el señor Espín Campos Jorge Ronny, ha sido revisado y verificado, dando fe de la originalidad del presente trabajo y emite el siguiente veredicto: se ha aprobado el Informe del Trabajo Experimental por lo que se recomienda proceder a la recepción de la defensa oral.

En la ciudad de Macas, a los 10 días del mes de Marzo del 2016



.....
Ing. Marco Mejía Flores
DIRECTOR DEL TRABAJO EXPERIMENTAL



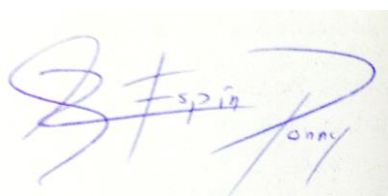
.....
Ing. Ramiro Pino Loza
MIEMBRO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, **Jorge Ronny Espín Campos**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas, 08 de marzo de 2016.

A handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature is stylized, with the first letter 'J' being large and prominent. The name 'Espín' is clearly legible in the middle, and 'Campos' is written in a smaller, more cursive script to the right.

Jorge Ronny Espín Campos
C.I. 1600488207

DEDICATORIA

A Dios porque cada instante me demuestra que existe, y que está conmigo.

A mi abuelita Chelita por siempre estar pendiente, y a mi lado desde antes que yo naciera, por apoyarme siempre, y por creer en mí, muchas gracias abuelita. "Siempre estará presente en toda mi vida y más allá, si existe algo".

A mis padres Rovin y Llovana, por darme la oportunidad de disfrutar lo maravilloso que es vivir en este mundo. A mi papá por siempre aconsejarme y guiarme por el camino correcto, por enseñarme a ser responsable, y a saber que, cada vez se puede ser mejor. A mi mamá por siempre ser ejemplo de esfuerzo y valentía por nunca rendirse y siempre brindarme su cariño.

A mis hermanos, Robín, Esteban y Maythe. Por alegrar cada momento de mi vida y por brindarme todo su afecto.

A mis tíos Walter y Edgar. Por apoyarme de diferentes maneras y estar pendientes de mi bienestar.

A mis primas Diana y Sabrina por permitirme compartir tantos momentos de felicidad y tristeza a su lado, por siempre estar juntos protegiéndonos y ayudándonos.

A Gaby por su gran afecto y por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Todo esto y lo que vendrá es por ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. José Luis Torres por su gran amistad y principalmente por el gran aporte en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Marco Mejía, por brindarme su apoyo y colaboración en el desarrollo de mi trabajo de titulación. También por sus importantes aportes y consejos a lo largo de mi vida universitaria.

Al geólogo Fernando Fierro por haber despertado en mí la pasión por tan linda profesión y principalmente por expresar su conocimiento generosamente desde el primer día que ingrese a la ESPOCH.

Al Ing. Ramiro Pino, por ser partícipe con sugerencias en mi trabajo de titulación.

Al MTOP de Morona Santiago por el apoyo en la realización de los ensayos de laboratorio, principalmente al Ing. Fernando Izquierdo y al Sr. Hermel Sasintuña.

Al GAD Municipal del Cantón Morona por facilitarme importante información para mi trabajo de titulación.

A mis dos grandes amigos que nos llevamos desde el inicio de la carrera, con los cuales compartimos y disfrutamos inolvidables momentos en las aulas y en el campo, Byron y Steve.

A mi querida Universidad ESPOCH, por acogerme y brindarme la oportunidad de educarme y forjar un futuro mejor para mi patria y mi persona.

CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	II
DELARACIÓN DE AUTENTICIDAD	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
INTRODUCCIÓN	1
1. CAPÍTULO I	2
1.1 Marco referencial	2
1.1.1 Antecedentes	2
1.1.2 Planteamiento del problema	2
1.1.3 Justificación	2
1.1.4 Objetivos	3
1,1,4,1 Objetivo general	3
1,1,4,2 Objetivos específicos	3
1.2 Generalidades	4
1.2.1 Ubicación	4
1.2.2 Acceso	5
1.2.3 Clima	5
1.2.4 Flora y Fauna	6
1.2.5 Aspectos Socioeconómicos y Culturales	6
2. CAPÍTULO II	7
2.1 Marco teorico	7
2.1.1 Geología Regional	7
2.1.2 Cordillera Oriental	7
2.1.3 Volcán Sangay	7
2.1.4 Zona Subandina	8

2.1.5 Valle del Río Upano	8
2.1.6 Cuenca Oriente	8
2.1.7 Formaciones geológicas	8
2,1,7,1 <i>Formación Mera (Cuaternario)</i>	9
2,1,7,2 <i>Formación Napo (Cretácico)</i>	9
2,1,7,3 <i>Formación Hollín (Cretácico Inferior)</i>	9
2,1,7,4 <i>Formación Chapiza (Jurásico Medio – Cretácico inferior)</i>	9
2,1,7,5 <i>Formación Santiago (Jurásico inferior)</i>	9
2.1.8 Geomorfología Regional	11
2.1.9 Análisis de los Fenómenos de Remoción en Masa	11
2.1.10 Causas generales de los movimientos de terreno	13
2.1.11 Método de equilibrio limite	13
2.1.12 Métodos de análisis de estabilidad de taludes	14
2,1,12,1 <i>Método simplificado de Bishop</i>	16
2,1,12,2 <i>Método simplificado de Janbú</i>	16
2.1.13 Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb	17
2.1.14 Factor de Seguridad	19
2.1.15 Propiedades y características de los materiales que conforman el talud	20
2.1.16 Coeficiente de Presión Intersticial r_u	20
2.1.17 Plasticidad	21
2.1.18 Retro análisis	21
2.1.19 Sismicidad	21
2,1,19,1 <i>Zonas sísmicas y factor de Zona Z</i>	22
2.1.20 Software Slide 5.0	23
3. CAPÍTULO III	24
3.1 Diseño y experimentación	24
3.1.1 <i>Metodología</i>	24

3.1.2 Levantamiento topográfico	26
3.1.3 Caracterización geológica.....	28
3.1.3.1 Geología Local.....	28
3.1.3.2 Columna estratigráfica del talud	30
3.1.3.3 Caracterización del talud.....	31
3.1.4 Caracterización geomorfológica.....	34
3.1.5 Uso actual del área en estudio	36
4. CAPÍTULO IV	37
4.1 Analisis e interpretacion de resultados	37
4.1.1 Ensayos de laboratorio.....	37
4.1.2 Propiedades físicas de los materiales que conforman el talud	37
4.1.3 Microscopia de minerales en lámina delgada	37
4.1.4 Propiedades mecánicas de los estratos	38
4.1.5 Métodos de análisis	38
4.1.6 Superficie de falla	38
4.1.7 Análisis de estabilidad.....	39
4.1.8 Factor de seguridad actual	41
4.1.9 Análisis de estabilidad actual.....	41
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES.....	45
5. CAPÍTULO V	
RESUMEN.....	46
ABSTRACT.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	48
ANEXOS.....	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2 Clasificación de los procesos de remoción en masa	12
Tabla 2-2 Causas de los movimientos del terreno.....	13
Tabla 3-2 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	15
Tabla 4-2: Valor del coeficiente de presión intersticial, ru , para distintas posiciones del nivel freático en un talud en suelo.....	20
Tabla 5-2: Valores del factor Z de la zona sísmica adoptada	22
Tabla 6-4: Ensayos de laboratorio	37
Tabla 7-4: Propiedades físicas de los materiales que conforman el talud.....	37
Tabla 8-4: Nombre de las rocas del estrato aluvial y volcanoclástico.	37
Tabla 9-4: Propiedades mecánicas de los estratos.	38
Tabla 10-4: Factores de seguridad.	40

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1-1. Mapa de Ubicación.....	4
Figura 2-1 Acceso al deslizamiento	5
Figura 3-1. Mapa de la Región de Macas	10
Figura 4-2. Diagrama del factor f_0 utilizado en el método de Janbú.....	17
Figura 5-2 Envolvente de Mohr-Coulomb.....	18
Figura 6-2 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño	23
Figura 7-3 Levantamiento Topográfico.....	27
Figura 8-3 Estación Total.....	27
Figura 9-3 Ubicación de Prismas	27
Figura 10-3 Determinación de los contactos litológicos.....	28
Figura 11-3 C1 y C2: Contacto 1 y Contacto 2.....	29
Figura 12-3 C3: Contacto 3.....	29
Figura 13-3. Columna Estratigráfica del talud.....	30
Figura 14-3 Deslizamiento traslacional	31
Figura 15-3 Infiltración de agua en el estrato aluvial	32
Figura 16-3 Acumulación de agua.	32
Figura 17-3 Salida del agua del estrato aluvial	32
Figura 18-3. Representación de las dimensiones del talud	33
Figura 19-3 Apique ubicado en la cresta del talud.....	34
Figura 20-3 Apique en la cresta del talud	34
Figura 21-3 Geomorfología del Valle del Río Upano.....	35
Figura 22-3 Rio Upano	35
Figura 23-3. Ortofoto de las construcciones cercanas al deslizamiento año 2006.....	36
Figura 24-4 Modelamiento aplicando Bishop Simplificado	39
Figura 25-4 Modelamiento aplicando Janbu Simplificado	40
Figura 26-4 Modelamiento aplicando Bishop simplificado, condición estática.	41
Figura 27-4 Modelamiento aplicando Janbu simplificado, condición estática	42
Figura 28-4 Modelamiento aplicando Bishop simplificado, condición pseudoestática.....	43
Figura 29-4 Modelamiento aplicando Janbu simplificado, condición pseudoestática.	43

INTRODUCCIÓN

Nuestro planeta cada día se enfrenta a diferentes procesos geológicos debido a su dinámica, entre uno de ellos se encuentran los deslizamientos de tierra, que no son raros en nuestro país, estos procesos son de sumo interés debido a las consecuencias que pueden ocasionar. En relación a este proceso natural se deben tomar medidas para mitigar en lo posible los efectos negativos en el ser humano y medio ambiente. Por tal razón se realizan los análisis de estabilidad de laderas o taludes con el fin conocer cuáles son los factores que intervienen en dicho proceso (deslizamientos de tierra), y las acciones que se pueden realizar para prevenir el hecho.

Los análisis de estabilidad se aplican al diseño de taludes o cuando estos presentan problemas de inestabilidad. La inestabilidad de taludes es un problema que actualmente se presenta en diversas calzadas de nuestro país, los factores que favorecen a esto son:

La mayoría de carreteras del Ecuador se desarrolla a través de relieves muy accidentados.

Los diseños de los cortes y los métodos de excavación en ocasiones no son los apropiados.

La falta de estudios previos a la realización de los cortes.

Los escasos recursos económicos destinados a la conservación de carreteras.

Cabe indicar que el mantenimiento vial es indispensable en cualquier proyecto y más aún debería ser en nuestro territorio ya que debido a su ubicación geográfica posee altas precipitaciones las cuales en su mayoría son las responsables de contribuir en la generación de fallas en los taludes.

El análisis de estabilidad del talud en estudio está directamente relacionado a un trayecto de la vía Macas – Puyo ya que los desprendimientos materiales caen sobre esta vía causando problemas de magnitud considerable.

1. CAPÍTULO I

1.1 MARCO REFERENCIAL

1.1.1 Antecedentes

El deslizamiento del talud ubicado en la abscisa 1+100, se ha venido produciendo progresivamente desde hace unos 6 años aproximadamente ocasionando algunos inconvenientes, en tal razón el MTOP de Morona Santiago en conocimiento de la problemática vial del país y específicamente de los problemas presentados en la Provincia, ha decidido rehabilitar las carreteras de la red vial principal, por lo que ha programado la estabilización del talud y ha contratado los estudios de estabilización para obtener los documentos técnicos que permitan construir esta obra. Por tal situación se contrató el PROCESO DE CONSULTORÍA No. CDC-MTOPMS-02-2010 con la compañía TECNOSUELOS Cía. Ltda. , para la realización de dichos estudios. Efectivamente el estudio fue entregado en el año 2012, pero las obras no se han realizado hasta la actualidad en consecuencia de este acontecimiento se toma la decisión de realizar un nuevo estudio donde se refleje el estado actual del talud debido a que este ha continuado presentando problemas de deslizamientos.

1.1.2 Planteamiento del problema

Con el pasar del tiempo Macas ha tenido un gran crecimiento urbano debido a que personas de lugares rurales prefieren la ciudad, ya sea por diferentes aspectos como lo es principalmente la educación y el comercio, razón por la cual se ha ido incrementando la infraestructura. Este crecimiento de la ciudad de Macas hace pocos años se daba sin ningún plan de ordenamiento territorial, esto ha ocasionado que se modifiquen las condiciones naturales del talud ya que una parte de la ciudad está sobre este. La falta de planificación de hace varios años en el desarrollo de Macas y la falta de un análisis detallado ha contribuido al hecho que el talud actualmente genere riesgo y en algunas ocasiones causen daños en bienes materiales y humanos.

1.1.3 Justificación

El talud posee ciertas características las cuales hacen que su comportamiento sea susceptible al deslizamiento presentando la caída de material con volúmenes imponentes. Esto no sería de gran importancia si el desprendimiento de material se diera en lugares donde no existan riesgos para el ser humano, construcciones o medio ambiente.

Los continuos deslizamientos han perjudicado directamente la circulación normal de medios de transporte y en algunos casos ha provocado la muerte de ciudadanos. El cierre de la vía por los deslizamientos tiene un gran impacto principalmente en la ciudad de Macas debido a que esta situación afecta el comercio y turismo. Otro aspecto importante es que si sucediera un deslizamiento de grandes dimensiones o si continua ocurriendo deslizamientos sucesivos como hasta la actualidad podría romperse la vía lo cual dejaría incomunicada a la ciudad de Macas con la Provincia de Pastaza, inclusive podría venirse abajo las construcciones existentes que se encuentran a escasos metros de la cresta del talud.

Debido a esta situación latente fue importante realizar este análisis de la estabilidad del talud con el fin de conocer el estado actual, ya que de este análisis se pudo implementar medidas preventivas.

El análisis contribuye de manera significativa a instituciones estatales como Gestión de Riesgos, Policía Nacional, GAD del Cantón Morona y MTOP de Morona Santiago, ya que de alguna manera están relacionadas con el fin de precautelar el bienestar social, mantener el orden público y alcanzar el buen vivir.

1.1.4 Objetivos

1,1,4,1 Objetivo general

Analizar las propiedades geomecánicas que conforman el talud de la vía Macas - Puyo en el tramo comprendido entre las abscisas 0+550 hasta 1+450 para definir mediante el método de equilibrio límite el factor de seguridad.

1,1,4,2 Objetivos específicos

- a) Efectuar un mapa geológico del talud.
- b) Determinar las propiedades físico - mecánicas de los materiales que conforman el talud.
- c) Diseñar el modelamiento de la estabilidad del talud.

1.2.2 Acceso

La zona de estudio se puede observar directamente desde la carretera asfaltada Macas – Puyo, existen algunas quebradas que permiten apreciar los afloramientos que poseen vegetación. El ingreso a la cresta del talud se lo hace por unos caminos de difícil acceso que están atrás de la catedral y de algunas viviendas.



Figura 2-1 Acceso al deslizamiento

1.2.3 Clima

Las mesetas y valles de exuberante vegetación determinan pisos climáticos diferentes con temperaturas variables. La ciudad de Macas posee un clima Subtropical.

El rango de temperatura de la cabecera parroquial de Macas varía de 20 a 22 °C.

El rango de precipitación de la cabecera parroquial de Macas es de 2000 a 2500mm, los meses de mayor precipitación en la ciudad de Macas, según los datos mensuales hasta el año 1982, dados por la FAE son los meses de Abril, Julio y Septiembre.

La humedad relativa para Macas va desde el 85,02% en enero al 88,87% en agosto.

1.2.4 Flora y Fauna

El lugar de estudio corresponde a una área intervenida el territorio se encuentra circunscripto en una zona de expansión urbana con espacios en los cuales se encuentran afloramientos sin cobertura vegetal en un 25%, los espacios con cobertura vegetal van desde pequeñas plantas, especies arbustivas, hasta escasos árboles de una altura aproximada de hasta 6 metros que constituyen el 75% restante, como el talud analizado corresponde a una franja de aproximadamente un kilómetro de longitud este se encuentra limitado en la arista superior por asentamiento urbano y en la arista inferior por la vía de primer orden Macas-Puyo. En base a observaciones se deduce que es un lugar en el cual se asientan provisionalmente aves, también existen reptiles y anfibios.

1.2.5 Aspectos Socioeconómicos y Culturales

La provincia es fundamentalmente agropecuaria. La producción del agro está orientada en su mayor parte al mercado local y al autoconsumo. Los productos más importantes son el maíz, el plátano, la yuca, la papa china, el banano, el café, el cacao, la pitajaya y la naranjilla. La cría de ganado vacuno es abundante en toda la provincia. La producción ganadera se vende en los mercados de la costa, especialmente en Guayaquil, y también en el Perú. El ganado porcino se destina especialmente para el autoconsumo y el mercado local. Por tal situación es de vital importancia mantener en óptimas condiciones el estado de la vía Macas – Puyo, ya que es la arteria principal de comunicación del norte de la provincia de Morona Santiago.

2. CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Geología Regional

La geología de manera general en relación al talud se encuentra caracterizada por eventos tectónicos, sísmicos, volcánicos y erosivos debido a que el talud se encuentra geológicamente ubicado en la Zona Subandina cuya zona es piedemonte de la Cordillera Oriental. Específicamente el análisis del talud se centra en estudiar una parte del margen derecho del Valle del Río Upano este río ha sido la principal fuente de transporte de sedimentos del Volcán Sangay a la Cuenca Oriental.

2.1.2 Cordillera Oriental

Esta cordillera también es conocida como Cordillera Real, está limitada al oeste por el Valle Interandino y al este por la Zona Subandina. Según (Litherland et al., 1994 en Hughes y Pilatasig, 2000), La Cordillera Real se constituye por cinturones sub-lineares de rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico, intruidos por granitoides de tipo S e I, y cubiertos por depósitos volcánicos Cenozoicos a modernos.

2.1.3 Volcán Sangay

El Sangay (5230 msnm) está ubicado en el extremo sur del arco volcánico ecuatoriano y es considerado el más activo de los volcanes en nuestro país. Este volcán está localizado a una latitud de 2° 00' S y una longitud de 78° 20' W, sobre la Cordillera Real (Oriental), y se encuentra a una distancia aproximada de 45 Km al Sureste de Riobamba y a 40 km al noroeste de Macas. Su edificio forma un cono simétrico (estratovolcán) con pendientes de 35° y tiene un diámetro basal casi circular (9 x 10 km). Su cumbre es compleja debido a que está formada por tres cráteres y dos domos de lava que están alineados en sentido Oeste-Este, lo cual da lugar a una cuchilla de aproximadamente 700 m de largo. (Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, 2015)

Según Monzier et al. (1999), el Sangay es un complejo volcánico andesítico que está formado por tres edificios sucesivos (Sangay I, II Y III), cuyos tamaños y volúmenes son decrecientes en el tiempo. El Sangay I se desarrolló en un rango de edad entre 500-250 ka AP, el Sangay II entre 100-50 ka AP y el Sangay III(cono actual) empezó a formarse hace 14 ka AP. Los edificios Sangay I y Sangay II fueron parcialmente destruidos como consecuencia de enormes deslizamientos de sus flancos orientales, provocando grandes avalancha de escombros que fluyeron hacia la planicie

amazónica y que generaron depresiones en forma de herradura en sus edificios conocidas como anfiteatros (similar al volcán Reventador).

El volcán Sangay ha manifestado actividad eruptiva histórica al menos desde el año 1628 DC (Hall, 1977), pero es a partir del siglo XVIII cuando se tienen descripciones más detalladas de su actividad. Algunas erupciones importantes ocurrieron en 1728, 1738-1744, 1842-1843, 1849, 1854-1859, 1872-1903, 1934-1937, 1941-1942, 1975-1976 y 1995-Presente. Estas erupciones se caracterizan por ser de tipo Estromboliano, con fuentes de lava, explosiones, emisiones y caídas de ceniza, frecuentes flujos de lava, crecimiento de domos, flujos piroclásticos y lahares.

2.1.4 Zona Subandina

El contacto tectónico entre los Andes orientales y la Cuenca Oriente lo constituye una zona de pliegues y cabalgamientos con dirección NNE y vergencia al oeste, conocida como la Zona Subandina (Litherland et al., 1994 en Guillier, et al., 2001). Las estructuras predominantes de esta zona de norte a sur corresponden al Levantamiento Napo, la Depresión Pastaza, el Levantamiento Cutucú y la Cordillera del Cóndor.

2.1.5 Valle del Río Upano

(Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004). La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo. Esta investigación en relación a la Superficie Mera Upano indica que, en el Pleistoceno medio y superior se depositaron lahares en el valle del Upano provenientes del volcán Sangay debido al resultado de dos colapsos sucesivos del edificio del volcán en 260 y 50 ka BP.

2.1.6 Cuenca Oriente

La Cuenca Oriente de Ecuador forma parte del sistema actual de cuencas subandinas de ante-país o cuencas de foreland (Marksteiner & Alemán, 1997). Según (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004) La Cuenca Oriente se desarrolla como resultado de esfuerzos transpresivos presentes a partir del Cretácico Terminal, los que provocan la emersión de la Cordillera Real y la formación de la cuenca de ante-país de transarco propiamente dicha.

2.1.7 Formaciones geológicas

De manera regional en relación a la proximidad de la zona de estudio afloran las siguientes formaciones:

2,1,7,1 Formación Mera (Cuaternario)

“Posee terrazas jóvenes cuyos depósitos están compuestos por abanicos de piedemonte del periodo cuaternario que consisten en areniscas tobáceas y arcillas. El espesor de los sedimentos disminuye hacia el este, en espesor, tamaño del grano y altitud”. (Baldock, 1982)

2,1,7,2 Formación Napo (Cretácico)

“Es una de las formaciones más ampliamente distribuida en la parte del Oriente Ecuatoriano consiste en una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas carbonatadas. Se dispone concordantemente sobre la formación hollín. Algunos autores dividen esta formación en Napo Basal, Napo Inferior, Napo Media y Napo Superior. Su espesor varía desde menos de 200m a más de 700m”. (Baldock, 1982)

2,1,7,3 Formación Hollín (Cretácico Inferior)

Está compuesta principalmente por cuarcitas y areniscas. Según (Baldock, 1982) La formación tiene un espesor de 80 a 240 metros e incluye lutitas fracturadas.

2,1,7,4 Formación Chapiza (Jurásico Medio – Cretácico inferior)

“Se encuentra en varios lugares de la zona sub andina de la parte sur del Ecuador, principalmente aflora en la Cordillera del Cutucú, está compuesta por una sucesión de sedimentos clásticos continentales”. (Baldock, 1982)

2,1,7,5 Formación Santiago (Jurásico inferior)

Una potente secuencia de calizas marinas del Jurásico inferior, con intercalaciones de lutitas, areniscas y piroclásticos forman gran parte de la Cordillera del Cutucú en el Sureste Ecuatoriano. La formación se extiende al Sur hacia el Perú, pero no es conocida en el resto del Ecuador. (Baldock, 1982)

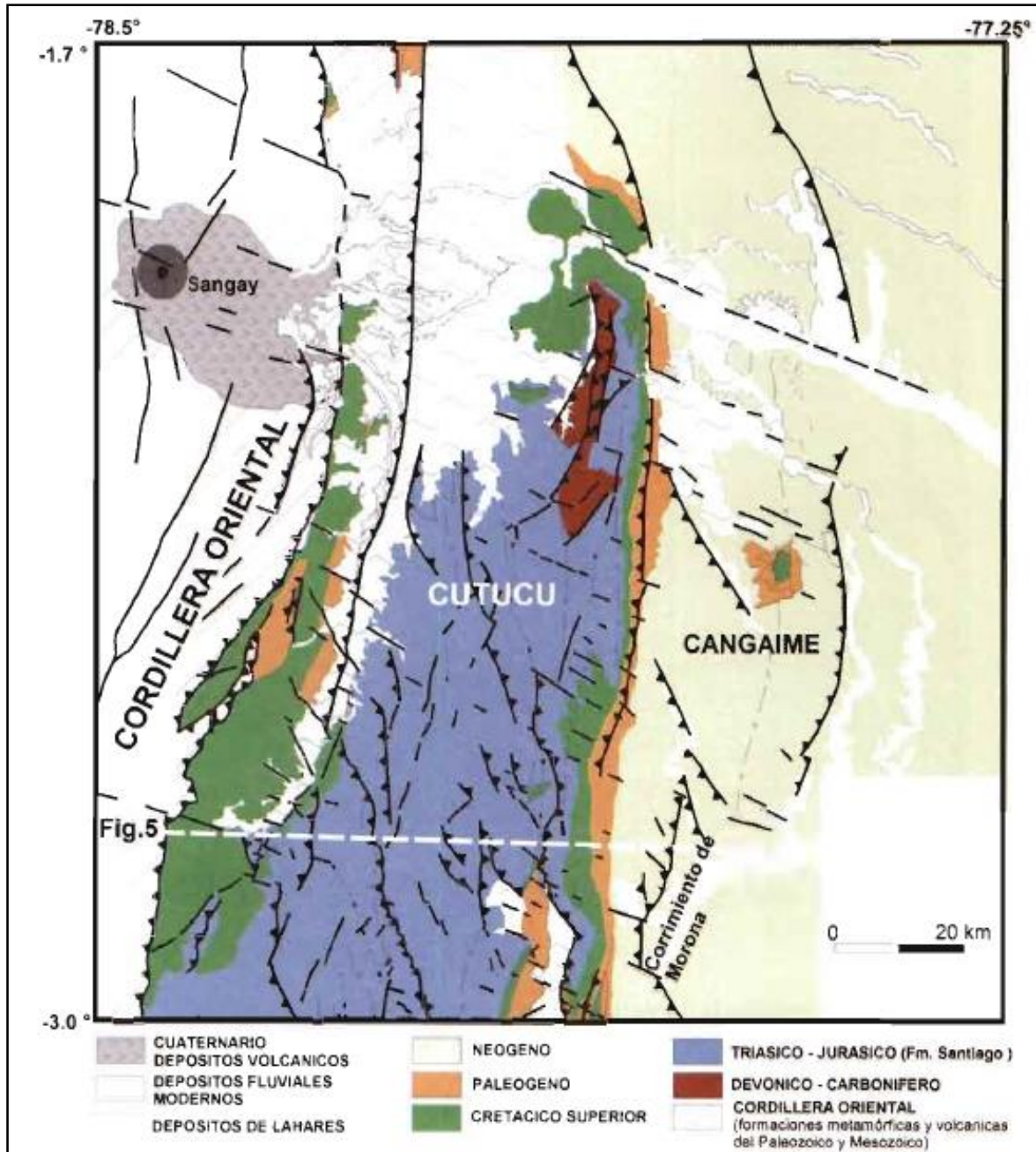


Figura 3-2. Mapa de la Región de Macas

Fuente: (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004)

2.1.8 Geomorfología Regional

Nuestro país posee grandes contrastes en relación a la forma del relieve terrestre esto se debe en gran medida a la cordillera de los Andes, esta estructura regional de origen tectónico ejerce gran influencia en el desarrollo y transformación de la superficie ya que atraviesa al Ecuador con rumbo norte – sur aproximadamente. Como menciona (Baldock, 1982) La Republica del Ecuador está situada en la Costa Oeste de Sudamérica, entre Colombia y Perú, geográficamente predominan los Andes que dividen la parte continental en tres regiones naturales, muy distintas; regiones estas que no solo son simples expresiones geomorfológicas, sino que también reflejan fundamentalmente ambientes geológicos diferentes. Hacia el Este se encuentra una zona baja denominada "Oriente" y parte de la cuenca Amazónica Superior la cual se levanta hacia el Oeste desde una altura promedio de solo 200 metros a cerca de 800 metros sobre el nivel del mar y más de 2000 metros en la zona Subandina.

2.1.9 Análisis de los Fenómenos de Remoción en Masa

Los movimientos de terreno, suelo o roca, que se desplazan sobre las pendientes debido a factores naturales o acciones humanas se les conocen como fenómenos de remoción en masa.

Las clasificaciones de los fenómenos de remoción en masa son de gran importancia debido a la ayuda que brindan al momento de comparar nuestro deslizamiento con los que contienen las clasificaciones existentes, de esta manera debido a las ideas que aportan estas clasificaciones se llega a definir de forma precisa qué tipo de deslizamiento es el que tenemos. Según (Alcántara, 2000) La clasificación de los procesos de remoción en masa más aceptada y aplicada a nivel internacional se basa en el mecanismo del movimiento, por lo que de manera general, estos movimientos se dividen en caídas o desprendimientos (falls), vuelcos o desplomes (topples), deslizamientos (slides), expansiones laterales (lateral spreading), flujos (flows) y movimientos complejos (complex movements).

En relación al estudio el proceso de remoción en masa que se encuentra experimentando el talud corresponde a un deslizamiento (slide). (Alcántara, 2000). Menciona que Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo, detritos o roca, la cual ocurre sobre una superficie reconocible de ruptura. Con frecuencia, la formación de grietas transversales es la primera señal de la ocurrencia de este tipo de movimientos, las cuales se localizan en la zona que ocupará el escarpe principal. La superficie de ruptura define el tipo de deslizamiento, por lo que las superficies curvas, cóncavas o en forma de cuchara se asocian a deslizamientos rotacionales, las superficies de ruptura

sempiplanas u onduladas a los movimientos translacionales y las superficies planas a los deslizamientos planos.

Tabla 1-2 Clasificación de los procesos de remoción en masa

Mecanismos de movimiento	Tipo de material involucrado			
	Tipo	Roca (<i>rock</i>)	Derrubios (<i>debris</i>)	Suelo (<i>soil</i>)
Desprendimientos (<i>fall</i>)		Caída o desprendimiento de rocas (<i>rockfall</i>)	Caída o desprendimiento de derrubios (<i>debris fall</i>)	Caída o desprendimiento de suelos (<i>soil fall</i>)
Vuelco o desplome (<i>topple</i>)		Vuelco o desplome de rocas (<i>rock topple</i>)	Vuelco o desplome de derrubios (<i>debris topple</i>)	Vuelco o desplome de suelos (<i>soil topple</i>)
Deslizamiento rotacional simple (<i>rotational slide</i>)		Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Múltiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)
Deslizamiento translacional o de bloques no rotacional (<i>translational slide, non-rotational</i>)		Deslizamiento de roca en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento de derrubios en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento translacional de suelos (<i>slab slide</i>)
Deslizamiento planar		Deslizamiento de rocas (<i>rock slide</i>)	Deslizamiento de derrubios (<i>debris slide</i>)	Coladas de barro (<i>mudslide</i>)
Flujos (<i>flow</i>)		Flujo de rocas (<i>rock flow</i>)	Corrientes de derrubios (<i>debris flow</i>)	Flujos de tierra, arena o suelo (<i>soil flow</i>)
Expansión lateral (<i>lateral spreading</i>)		Expansiones laterales en rocas (<i>rock spreading</i>)	Expansiones laterales en derrubios (<i>debris spread</i>)	Expansiones laterales en suelos (<i>soil spreading</i>)
Complejo (<i>complex</i>)		Ejemplo: Alud de rocas (<i>rock avalanche</i>)	Ejemplo: Flujo deslizante (<i>flow slide</i>)	Ejemplo: Rotación con flujo de tierras (<i>slump-earthflow</i>)

Fuente: Alcántara Ayala, Irasema. (2000).

2.1.10 Causas generales de los movimientos de terreno

Los procesos de remoción en masa suceden debido a dos causas principales, causas de tipo externo e interno. Las causas externas se refieren a la acción del agua, a la actividad sísmica, a la actividad volcánica y antrópica. Las causas internas se refieren a la morfología del terreno, geología del lugar y propiedades intrínsecas de los materiales.

Tabla 2-2 Causas de los movimientos del terreno.

Causas de índole geológica	Causas por procesos físicos
Materiales débiles Materiales sensibles Materiales intemperizados Materiales sujetos a cizallamiento Materiales con fisuras y diaclasas Discontinuidades orientadas adversamente (esquistosidad, planos de inclinación) Discontinuidades estructurales (fallas, discordancias, contactos) Permeabilidad contrastante Contraste de materiales con diferente plasticidad	Precipitación intensa Derretimiento rápido de nieve o hielo Eventos de precipitación extraordinarios Actividad sísmica Erupciones volcánicas Gelifracción Expansión e hidratación de arcillas
Causas morfológicas	Causas de origen antrópico
Levantamientos tectónicos o volcánicos Erosión glacial Erosión fluvial al pie de las laderas Erosión marina al pie de los acantilados Erosión glacial al pie de las laderas Erosión en márgenes laterales Erosión subterránea Remoción de la vegetación (por incendios y sequías)	Excavación de laderas o del pie de las laderas Incremento de peso en las laderas Disecación de cuerpos de agua (presas) Deforestación Irrigación Actividad minera Vibraciones artificiales

Fuente: Cruden y Varnes (1996)

2.1.11 Método de equilibrio límite

Como explica un documento de la (Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, 2015). Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común, debido a su sencillez, y porqué el valor del coeficiente de seguridad obtenido no dista demasiado del valor real. El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpreta que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplaza respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizadada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

2.1.12 Métodos de análisis de estabilidad de taludes

Según (Escobar & Valencia, 2012). Existen en el medio, diferentes métodos de análisis para determinar la estabilidad de taludes. Los más comunes son:

- Método del círculo de rotura
- Método de dovelas
 - Métodos aproximados:
 - Método ordinario o de Fellenius
 - Método simplificado de Bishop
 - Método simplificado de Janbú
 - Métodos Precisos:
 - Método de Morgenstern - Price
 - Método de Spencer
 - Método de Sarma
- Soluciones basadas en ábacos

Tabla 3-2 Métodos de análisis de estabilidad de taludes.

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
Talud infinito	Rectas	Fuerzas	Bloque delgado con nivel freático, falla paralela a la superficie.
Bloques o cuñas	Cuñas con tramos rectos	Fuerzas	Cuñas simples, dobles o triples, analizando las fuerzas que actúan sobre cada cuña.
Espiral logarítmica (Frohlich, 1953)	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Superficie de falla en espiral logarítmica. El radio de la espiral varía con el ángulo de rotación.
Arco circular, (Fellenius, 1922)	Circulares	Momentos	Círculo de falla, el cual es analizado como un solo bloque. Se requiere que el suelo sea cohesivo ($\phi = 0$).
Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
Janbú Simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
Sueco Modificado. U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas tienen la misma dirección que la superficie del terreno.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma	Fuerzas	Las fuerzas entre dovelas están inclinadas en un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas.
Spencer (1967)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, sea asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Utiliza el método de las dovelas en el cálculo de la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla.

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

2,1,12,1 Método simplificado de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo a la expresión (Suarez, 2002):

$$F.S. = \sum \frac{[C' b + (W - ub) \tan \phi' / ma]}{\sum W \sin \alpha}$$

Donde:

$$ma = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F.S.} \right)$$

b = Ancho de la Dovela

W = Peso de cada dovela

C', ϕ = Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de poros en la base de cada dovela = $\gamma_w \times h_w$

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Las características que presenta este método es asumir que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero, reduciendo el número de incógnitas la solución es sobredeterminada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.

2,1,12,2 Método simplificado de Janbú

(Sanhueza & Rodriguez, 2013) La principal consideración de este método es que las fuerzas entre dovelas son solo horizontales, no tomando en cuenta las fuerzas cortantes. A diferencia de los métodos anteriores, en este caso la SPF no debe ser obligatoriamente circular. Esto se refleja en la aplicación de un factor de corrección f_0 , el que depende netamente del nivel de curvatura que presente la superficie de rotura.

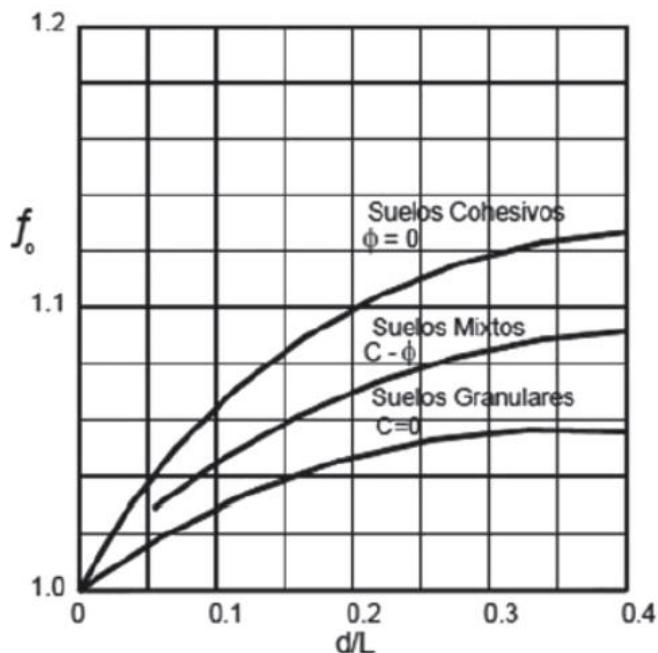


Figura 4-2. Diagrama del factor f_0 utilizado en el método de Janbú.

Fuente:(Suarez, 2011)

Para determinar la estabilidad de un talud, Janbú considera el cálculo de un FS, el cual satisface el equilibrio de esfuerzos (ec.13):

$$FS = \frac{f_0 \cdot \sum \left\{ [c \cdot b + W \cdot \tan(\phi)] + \frac{1}{\cos(\alpha) \cdot m \cdot a} \right\}}{\sum W \cdot \tan(\alpha)}$$

2.1.13 Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb

Básicamente es una teoría que indica como fallan o rompen los materiales incluyendo también a los suelos. Como menciona (Braja, 2001) Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante.

Es importante entender la resistencia al corte ya que esta resistencia es la que se opone a la ruptura en los suelos y por ende a la generación de cualquier plano de deslizamiento. (González de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Manifiesta que: La resistencia al corte del suelo no puede considerarse como un parámetro único y constante, ya que depende de su naturaleza, estructura,

enlaces, nivel de deformaciones, etc., así como, muy especialmente de su estado tensional y de la presión del fluido que rellena sus poros (agua o agua y aire).

De acuerdo a (Farfan, 2015). Tradicionalmente, el criterio de rotura más extendido y utilizado en la práctica geotécnica es el criterio lineal, establecido por primera vez en el año 1773 por Coulomb, para determinar la resistencia al esfuerzo cortante (τ) en un plano. Es un criterio lineal y viene dado mediante la siguiente expresión:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

donde:

c = es una constante denominada como cohesión, y representa la tensión cortante susceptible de ser resistida cuando la tensión normal no es aplicada.

σ_n = es la tensión normal al plano de rotura.

ϕ = es una constante denominada ángulo de rozamiento interno.

La envolvente de Mohr en términos de tensiones de rotura τ y σ , es una forma de expresar un criterio de rotura tipo Mohr.

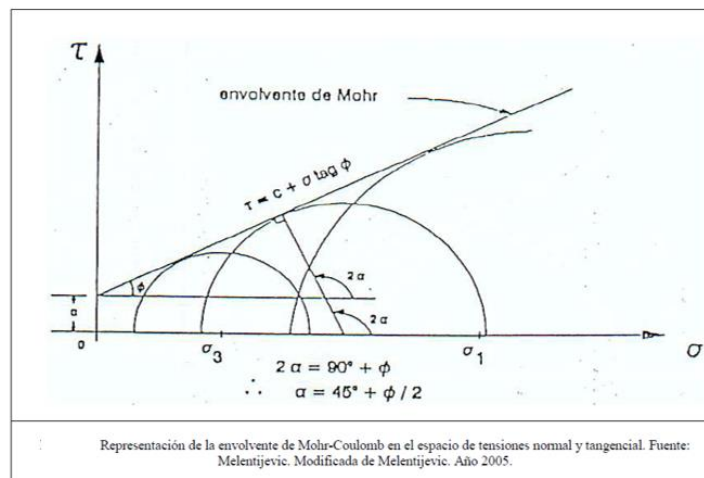


Figura 5-2 Envolvente de Mohr-Coulomb

Si el círculo de Mohr toca la envolvente, la resistencia máxima del suelo ha sido alcanzada, es decir, la falla ha ocurrido en un plano determinado. Si el ángulo de este plano con respecto a la horizontal es α , esta línea que se junta con el centro del círculo al punto tangente, está inclinada en un ángulo 2α con relación al eje. De la geometría del triángulo rectángulo, se tiene que:

$$2 * \alpha = 90^{\circ} + \Phi$$

y por lo tanto:

$$\alpha = 45^{\circ} + \Phi/2, \text{ a este plano se le denomina Plano de Falla Teórico.}$$

Aunque, en general, este criterio lineal no es concordante con el comportamiento triaxial de la roca en la rotura, se sigue utilizando mucho por su sencillez y comodidad.

2.1.14 Factor de Seguridad

Es un número el cual nos indica de forma cuantitativa la estabilidad de un talud. (Alzate, 2005) En casi todos los métodos que son de carácter determinístico, la seguridad de un talud se cuantifica por medio del Factor de Seguridad (F.S.), que se define como el coeficiente entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la necesaria para mantener el equilibrio estricto, el cual se supone constante en toda la superficie de deslizamiento.

(Braja, 2001) La tarea del ingeniero encargado de analizar la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad.

El factor de seguridad se puede expresar de la siguiente manera:

$$F.S = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

Cuando el F.S es igual a 1, el talud se encuentra en un estado de equilibrio o incipiente de falla. Generalmente el factor de seguridad de taludes debe ser de 1,5 para tener seguridad en su estabilidad.

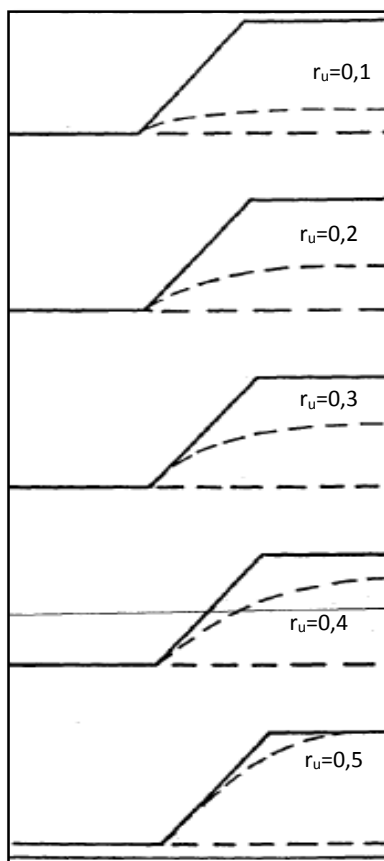
2.1.15 Propiedades y características de los materiales que conforman el talud

(Instituto Geológico y Minero de España, 1987) Entre las propiedades inherentes a los materiales, y que determinan su estabilidad, se encuentra la cohesión, la fricción y la densidad (consecuencias de la litología e historia geológica sufrida), pudiendo provocar la variación de alguna de estas propiedades el desequilibrio en la masa.

2.1.16 Coeficiente de Presión Intersticial r_u .

Según el (Instituto Geológico y Minero de España, 1987) En ocasiones la presión de agua puede quedar caracterizada mediante el coeficiente de presión intersticial, r_u . Este coeficiente mide, en definitiva, la altura alcanzada por el agua en un talud.

Tabla 4-2: Valor del coeficiente de presión intersticial, r_u , para distintas posiciones del nivel freático en un talud en suelo.



Fuente: (Instituto Geológico y Minero de España, 1987)

2.1.17 Plasticidad

Según(Crespo, 2004)La plasticidad es la propiedad que representan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas representan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los mencionados límites son: Límite líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.), y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

2.1.18 Retro análisis

(Arellano, Bielefeldt, & Correa)El análisis retrospectivo (back analysis) es usado comúnmente en la ingeniería geotécnica para estimar la resistencia *in situ* del suelo. Esta resistencia se representa generalmente por los parámetros de resistencia al corte en tensiones efectivas de Mohr-Coulomb, cohesión c y ángulo de fricción interna ϕ . El análisis retrospectivo de fallas de taludes es un método efectivo que incorpora importantes factores que muchas veces no son bien representados en ensayos de laboratorio, tales como la estructura del suelo, la no homogeneidad, influencia de fisuras en la resistencia al corte y el efecto de los planos de debilidad dentro de la masa de suelo.

El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a la unidad y considera la geometría original en el momento de la falla. Luego se estima la resistencia al corte del suelo que fue movilizada en la falla consistente con un modelo 2D realizado con un método seleccionado (Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc.) para un FS=1. Estudios han demostrado que usando un método que considere todas las condiciones de equilibrio ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$) se obtiene un factor de seguridad que varía en $\pm 5\%$ (Tang, 1999).

2.1.19 Sismicidad

Según(Suarez, 2002)Los eventos sísmicos son capaces de inducir fuerzas de gran magnitud, de naturaleza cíclica, las cuales pueden producir la falla rápida de taludes y laderas. Además, la resistencia al corte de un suelo puede reducirse a causa de cargas oscilatorias que generan deformaciones cíclicas, o debido a la generación de presiones altas de poros. La combinación entre la acción de las cargas sísmicas y la disminución de la resistencia pueden producir una disminución general de la estabilidad. El caso más crítico es el de materiales no plásticos de grano fino como son los limos o las arenas finas.

(Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004) La sismicidad de la región de Macas es comparada a la sismicidad global del Ecuador. Un experimento con diez estaciones sismológicas de corto período fue realizado entre 1999 y 2000, cerca de la ciudad de Macas. En la parte sur del piedemonte subandino del Ecuador (cordillera de Cutucú). Las ubicaciones de los terremotos registrados fueron comparadas y correlacionadas con las estructuras geológicas. Algunos eventos están alineados en una dirección NNE-SSW que corresponde a la orientación de los planos nodales del mecanismo focal inverso del terremoto de 1995 ($M_w = 7.0$), pero muchos eventos más pequeños están alineados en dirección NNW-SSE. Atribuimos estas dos orientaciones del enjambre sísmico de Macas a los corrimientos subandinos de basamento que provienen de la inversión tectónica de un rift abortado del Triásico-Jurásico, orientado NNE-SSW, que fue levantado y parcialmente expuesto en la cordillera de Cutucú. El presente fraccionamiento de esta parte de la deformación subandina está controlado por fallas normales pre-existentes de orientación NNE-SSW y de edad triásico-jurásico, que han sido significativamente comprimidas en transpresión y reactivadas en fallas inversas. La mayor parte de las fallas del rift estaban orientadas NNE-SSW, y corresponden ahora a algunos corrimientos del subandino, como lo confirma el mecanismo focal del terremoto de 1995, localizado en el borde este (corrimiento frontal de Morona). En la cordillera de Cutucú, la orientación del enjambre actual de réplicas puede ser interpretada como el resultado de la acomodación del desplazamiento del corrimiento frontal de Morona NNE-SSW, a lo largo de fallas preexistentes NNW-SSE que se encuentran dentro del sistema de rift invertido.

2.2,19,1 Zonas sísmicas y factor de Zona Z

De acuerdo al (Código Ecuatoriano de la Construcción, 2002). El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las cuatro zonas sísmicas del Ecuador, de acuerdo con la definición de zonas de la Figura 6-2. Una vez identificada la zona sísmica correspondiente, se adoptará el valor del factor de zona Z, según la Tabla 5-2. El valor de Z de cada zona representa la aceleración máxima efectiva en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 5-2: Valores del factor Z de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor Factor Z	0,15	0,25	0,30	0,4

Realizado por: Ronny Espín

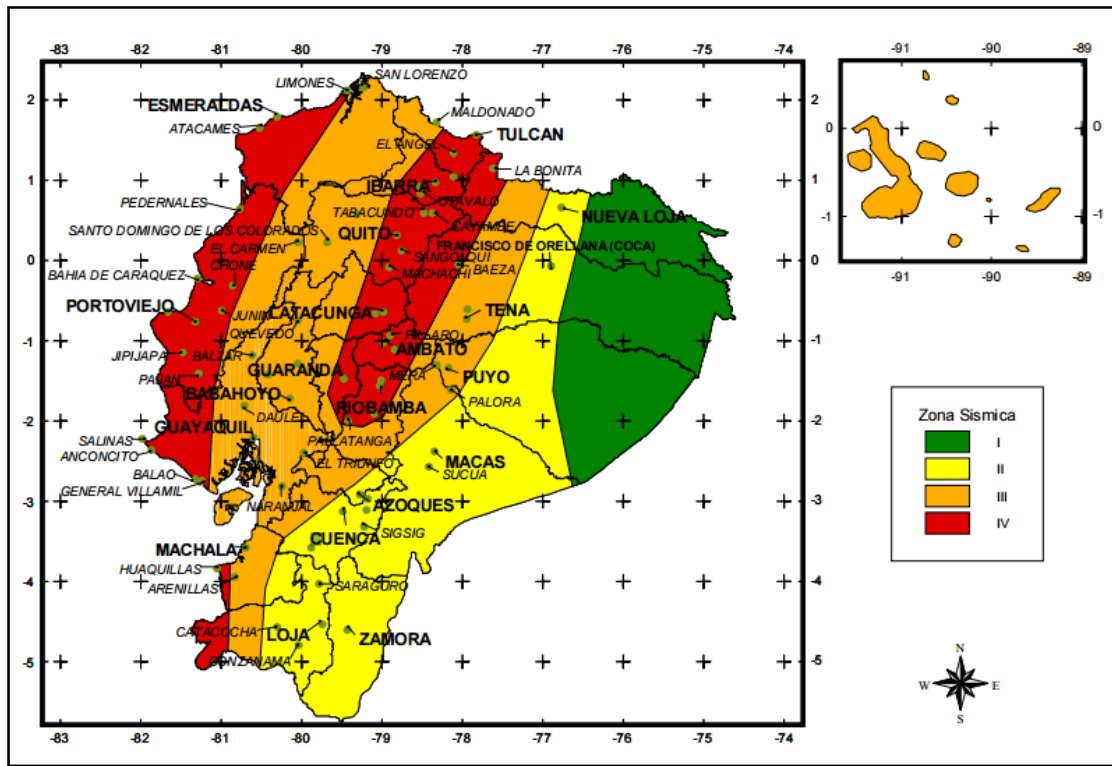


Figura 6-2 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño

Fuente: *Código Ecuatoriano de la Construcción 2002*

2.1.20 Software Slide 5.0

Slide 5.0 es un programa geotécnico que dentro de sus muchos usos está el análisis de estabilidad de taludes en rocas o suelos, esta aplicación informática fue desarrollada por la casa comercial Rocscience. Slide se puede utilizar para diseñar y / o analizar las pendientes naturales o provocadas por el hombre, pendientes tales como: cortes, terraplenes, presas, estructuras de contención, y vertederos. Calcula factores de seguridad para superficies de falla circular y no circular, utilizando el método de equilibrio límite. La ventaja de Slide 5.0 es que se puede ubicar la superficie de falla con el fin de hacer un retro análisis, brinda la opción de proyectar el nivel freático y realizar un análisis pseudoestático. Utiliza varios criterios de rotura los cuales son: el criterio de rotura de Mohr-Coulomb, Hoek-Brown, etc. Cabe indicar que el programa integra y realiza el procesamiento de los datos fundamentándose en los modelos matemáticos de Bishop simplificado, Janbu Simplificado, entre otros.

3. CAPÍTULO III

3.1 DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

3.1.1 Metodología

Capítulo 1

El trabajo se inició recopilando información física y digital la cual está compuesta por: mapas geológicos, topográficos e imágenes satelitales, así como también de bibliografía sobre geotecnia aplicada a taludes o laderas. También se investigó antecedentes sobre deslizamientos ocurridos, accidentes producidos, y consecuencias en la parte económica y social. Cierta información fue facilitada por el Gobierno Municipal del cantón Morona y el Ministerio de transporte y obras públicas de Morona Santiago. El MTOP de Morona Santiago proporciono la topografía del estudio realizado por la compañía TECNOSUELOS Cía. Ltda.

Capítulo 2

Se conformó el fundamento científico iniciando con la explicación de la geología y geomorfología regional relacionada a la zona de estudio, posterior a esto se refiere a los fenómenos de movimientos en masa identificando sus tipos principales, también se incluye la forma en que fallan los taludes y los métodos de cálculo existentes. Se menciona también las propiedades de los materiales de gran importancia en la estabilidad de taludes y la forma de estimar dichas propiedades. Además se indica la importancia del factor de seguridad en relación a la estabilidad de taludes. Se incluye la prestación y adaptabilidad que el programa Slide 5.0 brinda para el estudio.

Capítulo 3

A continuación se realizó el trabajo de campo el cual inicio con la caracterización geológica, en esta parte se levantó información técnica como: litología, estratigrafía. Conjuntamente con la parte geológica se realizó la caracterización geomorfológica la cual consta de geoformas, e inclinaciones.

Se realizó el levantamiento topográfico del cual se generó un mapa, sobre este mapa se ubicó la información recogida en el mapeo geológico y se confecciono el mapa geológico.

Se definió en el campo la ubicación de las muestras y se procedió a su extracción, para esta actividad se recurrió con la asistencia de los trabajadores del MTOP de Morona Santiago que también nos ayudaron facilitándonos el laboratorio.

Se tomaron 3 muestras de cada uno de los estratos denominados: coluvial, aluvial y volcanoclástico.

Para la toma de muestra del estrato coluvial se realizó un apique, se limpió la zona de cobertura del suelo, se excavo un pozo de 1,40m de profundidad, se procedió a la identificación de los estratos, se situó una funda plástica en el piso del pozo para que al momento de extraer el material con la barreta este no se mezcle y se altere, posterior a esto se ubicó la muestra de 5 Kg en una funda plástica, y está dentro de una lona previamente etiquetada.

En el estrato denominado aluvial y volcanoclástico se tomó una muestra de la matriz, el proceso empezó con la limpieza del lugar el cual consistió en excavar unos 10cm de profundidad para retirar la zona expuesta directamente a la intemperie, posterior a esto se ubicó una funda plástica en el piso para que el material a muestrear cayera sobre esta funda y no se contamine con otros materiales, después se procedió a recolectar la muestra de 5 Kg en fundas plásticas.

Estas muestras fueron llevadas al laboratorio donde se realizaron los respectivos ensayos. Los ensayos ejecutados en el laboratorio fueron los siguientes: límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, análisis granulométrico.

Los ensayos de los límites atterberg se realizaron siguiendo la norma ASTM D-4318.

Los ensayos granulométricos se realizaron siguiendo la norma ASTM D-422.

También se tomaron muestras de clastos, un clasto del estrato aluvial y un clasto del estrato volcanoclástico, estas muestras fueron enviadas al INIGEMM donde se les realizó un análisis petrográfico. Estas muestras fueron tomadas de los estratos de la parte media del talud siguiendo los mismos procedimientos que las muestras anteriores.

Capítulo 4

Una vez obtenida y organizada toda la información mencionada, incluyendo los resultados de los ensayos del laboratorio, se decidió realizar un retro análisis del deslizamiento, debido a que no fue posible extraer muestras inalteradas que nos permitieran obtener los valores de resistencia de las siguientes propiedades mecánicas como: peso específico, cohesión, ángulo de fricción interno.

El retro análisis consistió en realizar dos perfiles topográficos, es decir un perfil de la topografía realizada por Tecnosuelos Cía. Ltda. Y un perfil de la topografía realizada en este estudio. Estos perfiles fueron superpuestos georreferenciadamente con el fin de estimar y modelar la superficie de falla. Una vez superpuestos los perfiles se les incluyó la geología y se delimitó los contactos

litológicos mapeados en campo. Estos perfiles fueron hechos mediante cortes orientados por la línea principal del deslizamiento.

En el modelo se observó la superficie de falla y la parte del material que ha fallado desde el levantamiento topográfico realizado en el 2012 hasta el levantamiento topográfico actual denominado topografía 2015.

Estos perfiles superpuestos se modelaron en el programa Slide 5.0, y se ingresaron los siguientes valores: peso específico, cohesión y ángulo de fricción interno. Para caracterizar la presión de agua se utilizó el coeficiente de presión intersticial r_u . Estos valores mencionados se ingresaron razonadamente asignado valores apegados a las características propias de cada estrato.

En sí, el retro análisis radica en simular las condiciones y estimar los valores de las propiedades mecánicas con las cuales el talud fallo.

De esta manera se ingresó los valores de las propiedades de 6 estratos en total, valores de 3 estratos que están atrás de la superficie de falla y de los tres estratos que estuvieron antes del deslizamiento. Esto se debe a que se tiene que obtener un factor de seguridad ligeramente cercano a 1.

Los estratos que estuvieron antes del deslizamiento se les denominó: coluvial 2, aluvial 2 y volcanoclástico 2.

Se inició el análisis de estabilidad del talud por medio del método de equilibrio límite debido a su sencillez y efectividad mostrada en otros estudios, mediante el uso del software de geotecnia llamado Slide 5.0., usando los modelos matemáticos de Janbu Simplificado y Bishop Simplificado para una superficie de rotura no circular en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

En base a los valores obtenidos de los factores de seguridad se procedió a realizar las conclusiones y recomendaciones.

3.1.2 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se ejecutó con el fin de conocer la forma actual del terreno y principalmente la superficie de ruptura del talud, la cual se definió mediante un retro análisis. Se empleó una estación total marca Sokkia.

Para el levantamiento se definió un punto de referencia en el cual se ubicó la estación total, a partir de dicho punto se comenzó con la toma de los puntos más representativos.



Figura 7-3 Levantamiento Topográfico



Figura 8-3 Estación Total



Figura 9-3 Ubicación de Prismas

3.1.3 Caracterización geológica

3,1,3,1 Geología Local

La parte central del estudio es el deslizamiento ocurrido en el talud que se encuentra en la abscisa 1+100km de la vía Macas-Puyo. Geológicamente el deslizamiento se encuentra en un tramo del margen derecho de Valle del Río Upano, el afloramiento se caracteriza por depósitos sedimentarios y vulcano-sedimentarios, estos se encuentran dispuestos en estratos horizontales concordantes con rumbo norte-sur, se observa también tres contactos litológicos.

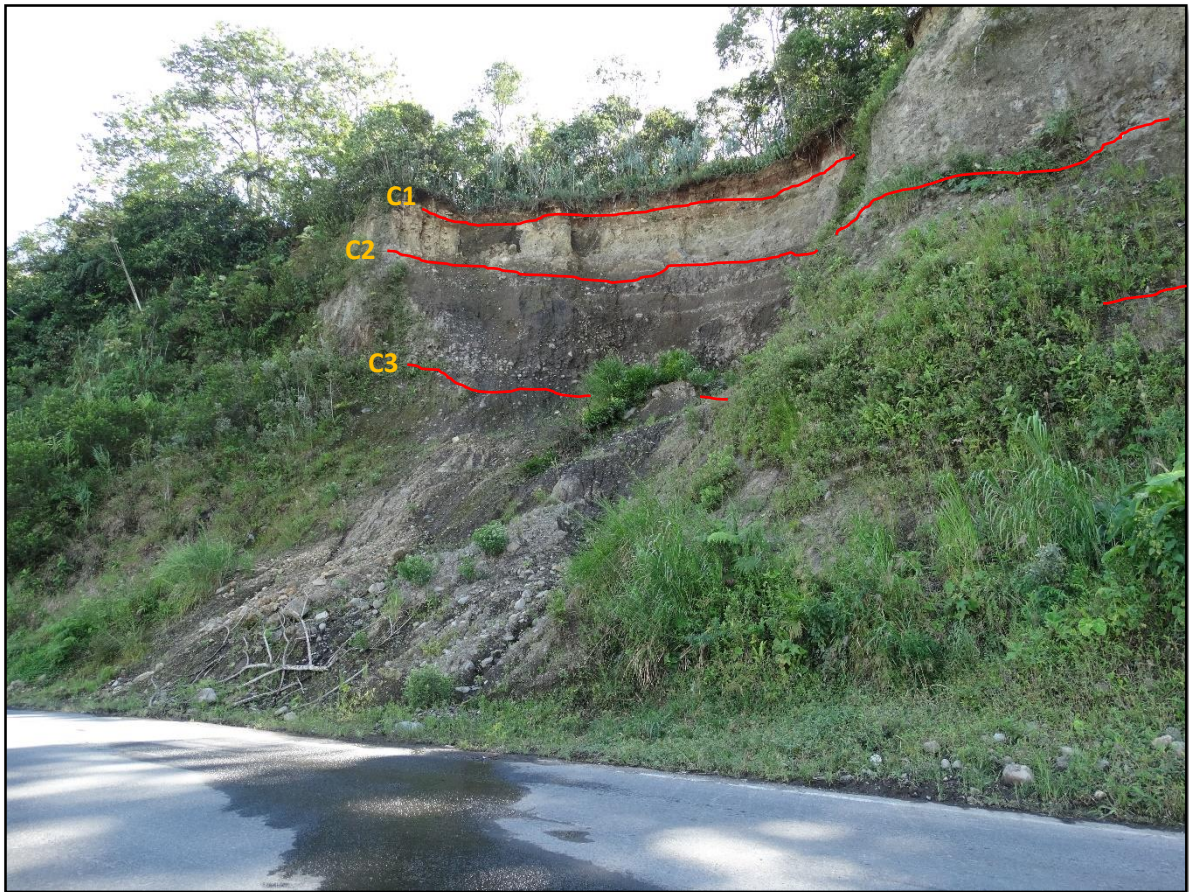


Figura 10-3 Determinación de los contactos litológicos



Figura 11-3 C1 y C2: Contacto 1 y Contacto 2



Figura 12-3 C3: Contacto 3

Realizando un corte paralelo a la dirección del deslizamiento, desde la cresta al pie del talud se aprecia su estratigrafía que han sido denominadas como:

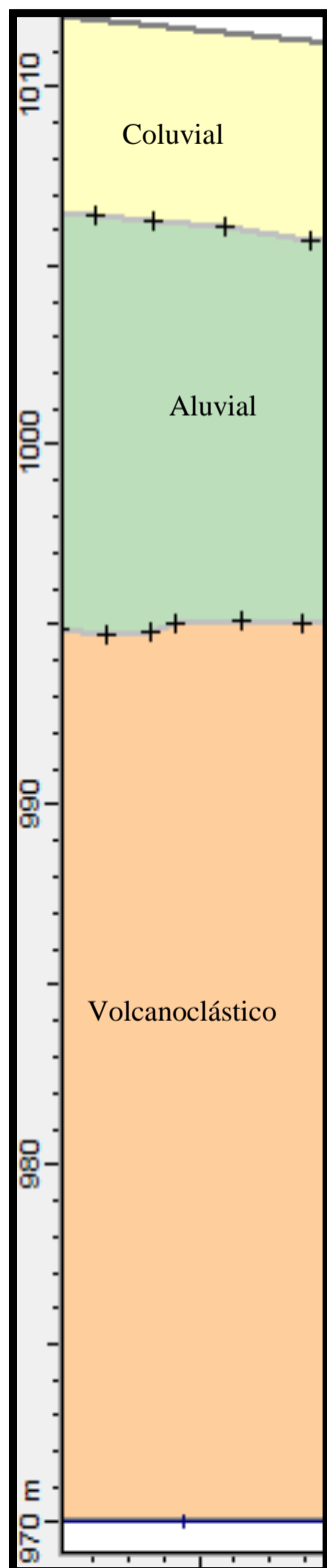
Unidad 1: Humus

Unidad 2: Coluvial

Unidad 3: Aluvial

Unidad 4: Volcanoclástico

3,1,3,2 Columna estratigráfica del talud



Unidad 2: Coluvial

La matriz está compuesta por un material limo-arenoso de color café con pequeños clastos tamaño grava que van desde 2cm a 15cm aproximadamente. Este depósito corresponde a un empaquetamiento de matriz soportada. El porcentaje de clastos es de un 5% mientras que el de la matriz corresponde al 95% restante. La redondez de los clastos es subangular. Su madurez textural es inmadura debido a su abundante matriz y mala clasificación de los clastos. Los clastos corresponden a una litología de lavas andesíticas las cuales están meteorizadas al punto que se ha generado una pátina de óxido de hierro cubriéndolas hacia su alrededor. La potencia de este estrato es de 6m.

Unidad 3: Aluvial

Está compuesto por una matriz arenosa de color oscura, y por clastos que corresponden mayoritariamente a lavas andesíticas que están dentro de un rango de tamaño promedio de 15cm a 60cm, incluso existen algunos bloques de aproximadamente 1m. De manera general se puede observar que posee un empaquetamiento clasto soportado. La redondez de los clastos corresponde a subangular y subredondeada. El porcentaje de matriz del depósito corresponde a un 40% y el porcentaje de clastos corresponde a un 60%. La potencia del estrato es de 11m

Unidad 4: Volcanoclástico

Corresponde a un estrato caótico compuesto por una matriz arcillo arenosa de color gris y rojizo, la cual contiene clastos pórfido andesíticos. Los tamaños de los fragmentos van desde 3cm a 40cm, predominando en un 60% los tamaños que están entre 3cm y 15cm. El grado de redondez del material lítico es angular. La potencia del estrato es de 25m.

Figura 13-3. Columna Estratigráfica del talud

3,1,3,3 Caracterización del talud

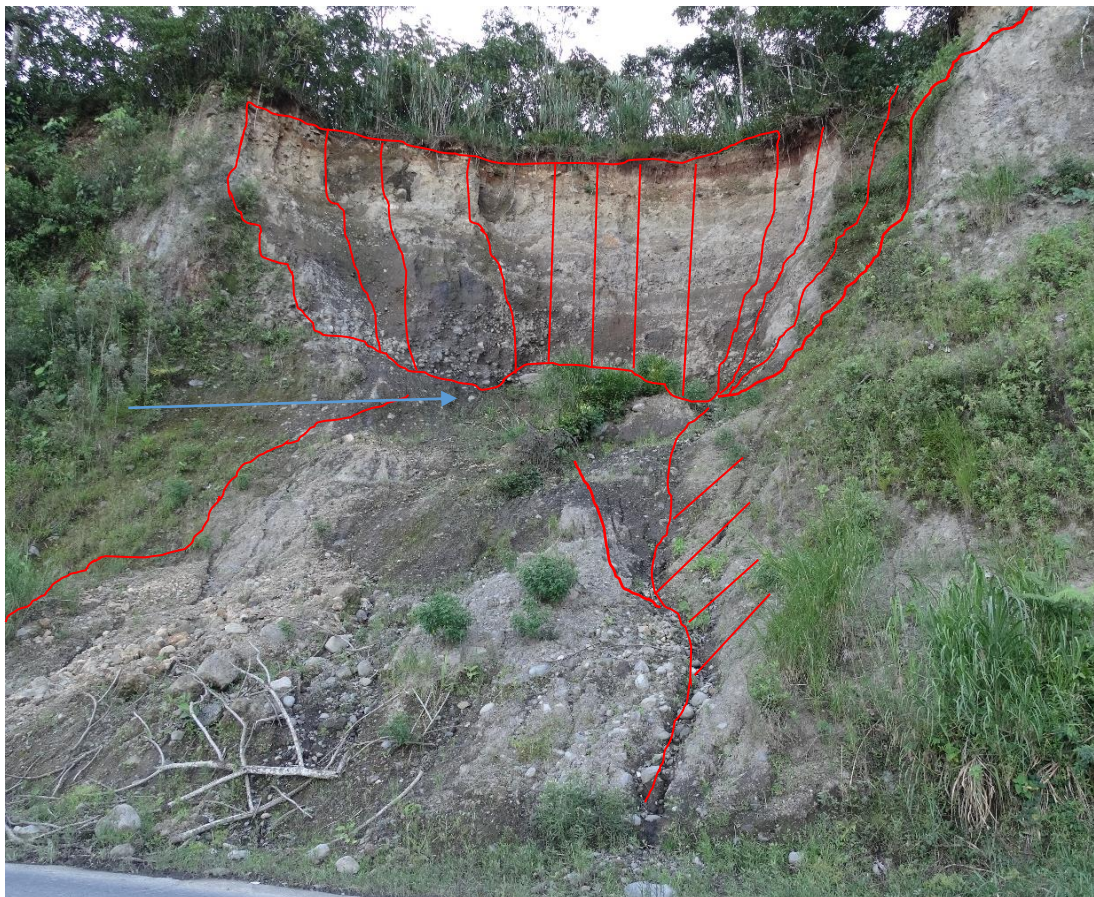


Figura 14-3 Deslizamiento traslacional

El deslizamiento es de tipo traslacional debido a que presenta una superficie de ruptura semiplana. El material se ha deslizado como una sola masa integrada por varios materiales como: materia orgánica, limos, arenas, clastos y hasta tallos de árboles. En la parte alta se puede observar la superficie de ruptura la cual corresponde a los estratos: unidad 1,2 y 3. La superficie de ruptura no avanza al estrato denominado unidad 4, razón por la cual el material que falla se dispone sobre una parte del estrato unidad 4 y al pie del talud. En la parte externa del cono de deslizamiento se observa materiales que siguen cayendo de los estratos superiores. En la parte media del talud indicada con la flecha, se ha formado una pequeña berma natural la cual ayuda a detener ciertos materiales que caen de la parte alta.



Figura 15-3 Infiltración de agua en el estrato aluvial

En el estrato unidad 3 denominado aluvial se observa varias filtraciones de agua con un flujo constante incluso en días soleados. La zona con óxido de hierro se debe al paso constante del agua.



Figura 16-3 Acumulación de agua.

El agua que sale del estrato aluvial se acumula y se va infiltrando en el estrato volcanoclástico, debido a esto parte de la zona se encuentra saturada. La zona de acumulación de agua se encuentra en la berma formada naturalmente



Figura 17-3 Salida del agua del estrato aluvial

El talud posee las siguientes dimensiones:

Altura (H)	42m
Profundidad (P)	25m
Ancho (A)	50m
Pendiente (Φ)	Irregular

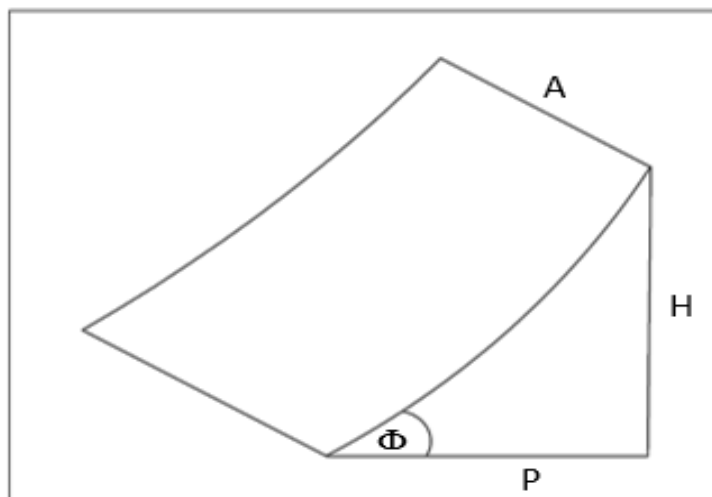


Figura 18-3. Representación de las dimensiones del talud

El volumen total del talud aproximadamente es de 26250m³ y la superficie del talud es convexa.

Al momento que se entró a la corona del talud se evidenció una cuneta de cemento construida a unos 60m atrás de la cresta del talud, la cual estaba llena de sedimentos obstaculizando el paso del agua de esorrentía.

En la cresta del talud se procedió a realizar un apique de 1,40m de profundidad donde se describe a continuación el material observado:

0 - 0,40cm: Se encuentra humus de color negro, con presencia de raíces y capa vegetal.

0,40 – 1,40m: Se observa material de color café con una fracción tamaño limo, esta matriz contiene clastos esporádicos desde 2 a 15cm. A partir de 1,10m de profundidad se encuentra el nivel freático.

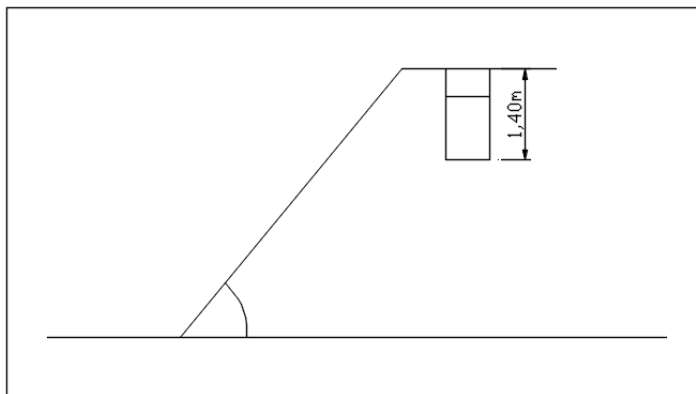


Figura 19-3 Apique ubicado en la cresta del talud



Figura 20-3 Apique en la cresta del talud

3.1.4 Caracterización geomorfológica

El área se encuentra dentro del valle del Upano, este valle corresponde a una zona aplanada que se encuentra limitado por dos escarpes verticales sobre los cuales a cada lado se tiene una mesa de varios kilómetros de extensión; el ancho del valle es de 800m aproximadamente sobre el cual discurre el río Upano con una trayectoria Norte-Sur formando un torrente anastomosado. Al pie del deslizamiento discurre el río Copueno en forma paralela al río Upano.

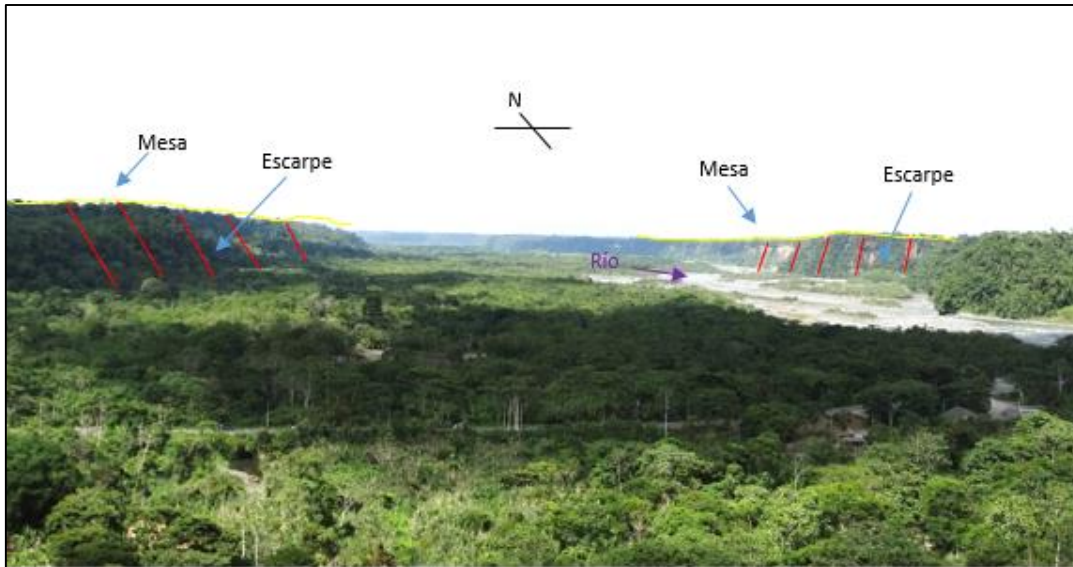


Figura 21-3 Geomorfología del Valle del Río Upano

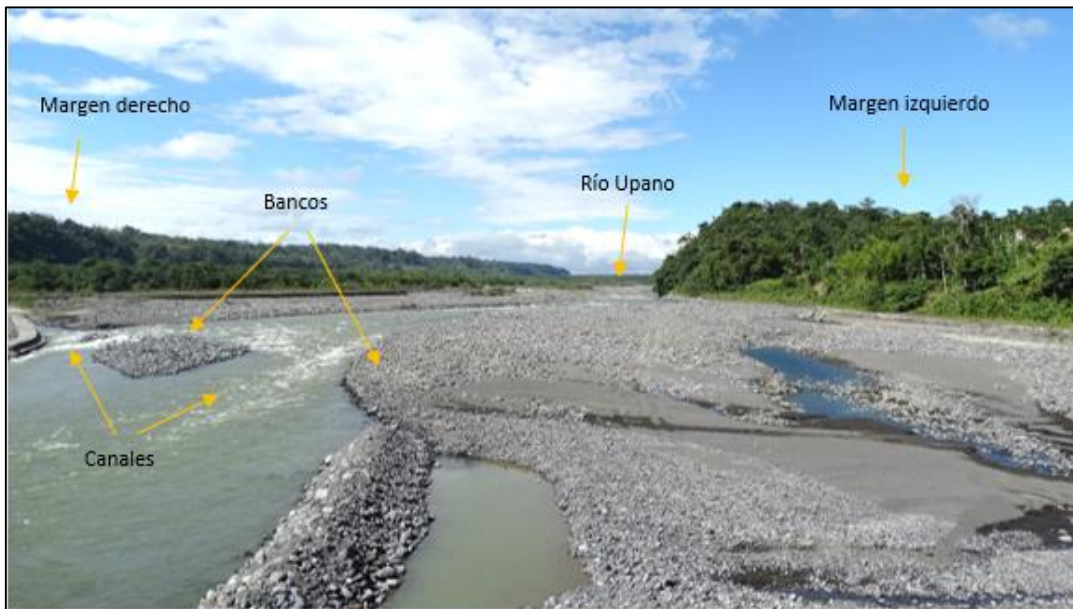


Figura 22-3 Río Upano

El río Upano posee una forma Anastomosado debido a la gran cantidad de sedimentos que transporta desde la cordillera Oriental. Estos bancos y canales trenzados son temporales, cambian de lugar cuando ocurren inundaciones.

3.1.5 Uso actual del área en estudio

En la cresta del talud analizado se localizan obras civiles tradicionales como: la iglesia catedral de Macas, el Coliseo 29 de mayo, radio Voz del Upano y viviendas particulares con características de construcción clásica que conforman uno de los primeros barrios.

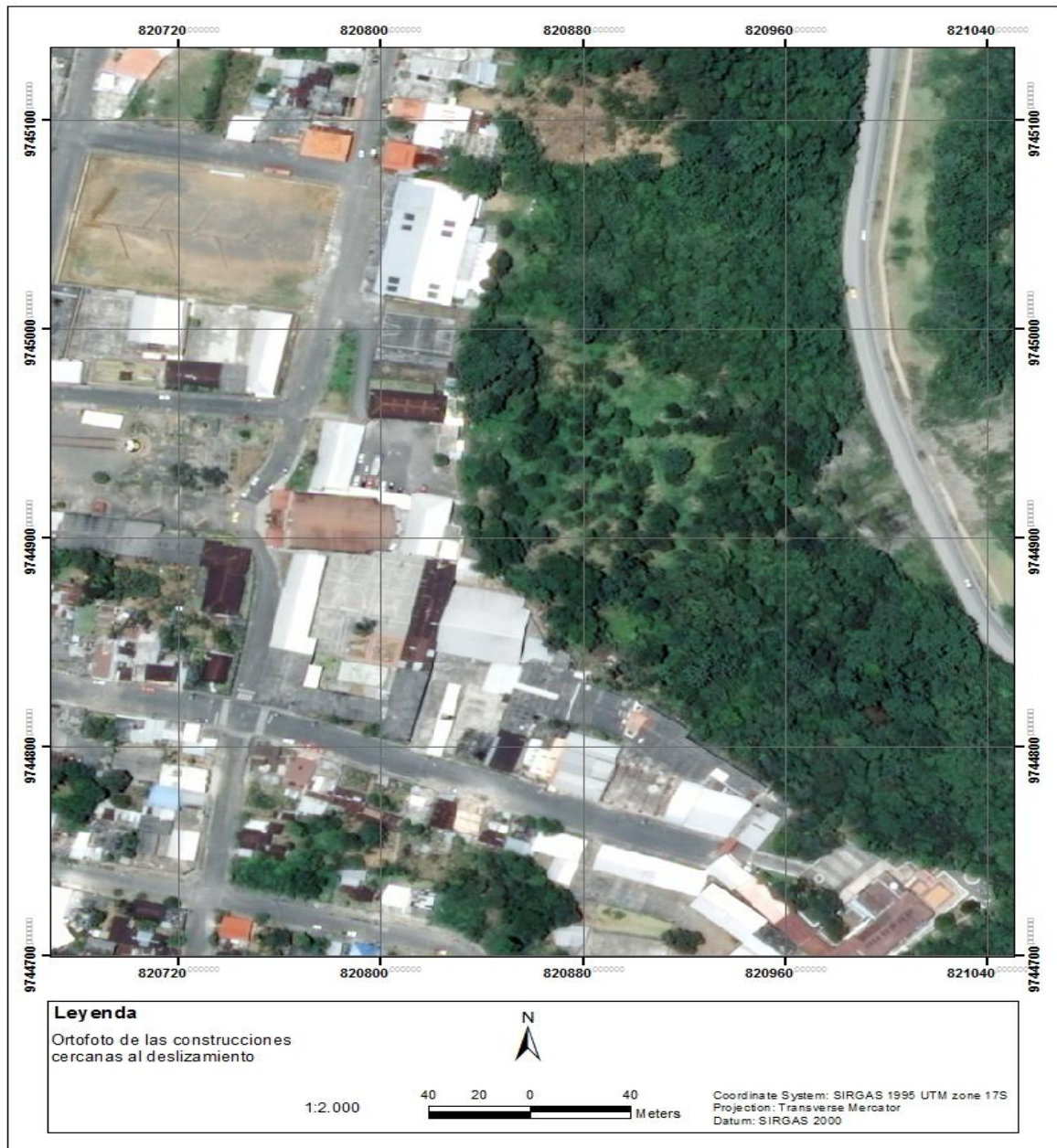


Figura 23-3. Ortofoto de las construcciones cercanas al deslizamiento año 2006.

4. CAPÍTULO IV

4.1 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1.1 Ensayos de laboratorio

Tabla 6-4: Ensayos de laboratorio

ENSAYO	Nº Ensayos
Granulometría por tamizado	3
Limite Liquido (LL)	3
Limite pastico (LP)	3
Índice de plasticidad (IP)	3
TOTAL	12

Realizado por: Ronny Espín

4.1.2 Propiedades físicas de los materiales que conforman el talud

Tabla 7-4: Propiedades físicas de los materiales que conforman el talud.

Estrato	% LL	% LP	% IP	Clasificación S.U.C.S.	Descripción
Coluvial	92,64	51,55	41,09	MH	Limo alta plasticidad.
Aluvial	0	0	0	SM	Arena limosa con grava.
Volcanoclástico	17,59	7,66	9,93	SC	Arena arcillosa con grava.
Estos resultados corresponden a ensayos efectuados en la matriz de los estratos.					

Realizado por: Ronny Espín

4.1.3 Microscopia de minerales en lámina delgada

Se realizó un análisis petrográfico de los clastos muestreados en el estrato denominado aluvial y en el estrato denominado volcanoclástico, esto nos sirvió para definir el nombre de la roca.

Tabla 8-4: Nombre de las rocas del estrato aluvial y volcanoclástico.

Clasto del estrato	Nombre de la Roca
Aluvial	Lava andesítica
Volcanoclástico	Pórfido andesítico

Realizado por: Ronny Espín

4.1.4 Propiedades mecánicas de los estratos

En la siguiente tabla se indican los valores que fueron estimados con el fin de obtener un factor de seguridad ligeramente menor a uno, para conocer los parámetros de resistencia al corte del talud al momento de la falla. Se aplicaron los métodos de Bishop y Janbu simplificado.

Tabla 9-4: Propiedades mecánicas de los estratos.

Estrato	Propiedades geomecánicas			Coeficiente de presión intersticial r_u
	Peso Específico (KN/m ³)	Cohesión (KN/m ²)	Angulo de fricción interno (Grados)	
Coluvial(A)	15	20	18	0.2
Aluvial(B)	19	10	30	0.2
Volcanoclástico (C)	20	75	45	0.1
Coluvial 2 (D)	18	10	5	0.5
Aluvial 2(E)	19	5	15	0.5
Volcanoclástico 2 (F)	20	30	35	0.3

Realizado por: Ronny Espín

4.1.5 Métodos de análisis

Los métodos de cálculo que se utilizó son los de Bishop y Janbu Simplificado.

4.1.6 Superficie de falla

Se observa que la superficie de falla se acerca a la vertical, es una superficie irregular más o menos plana, por esta razón el análisis de estabilidad se realiza con una superficie de falla no circular.

4.1.7 Análisis de estabilidad

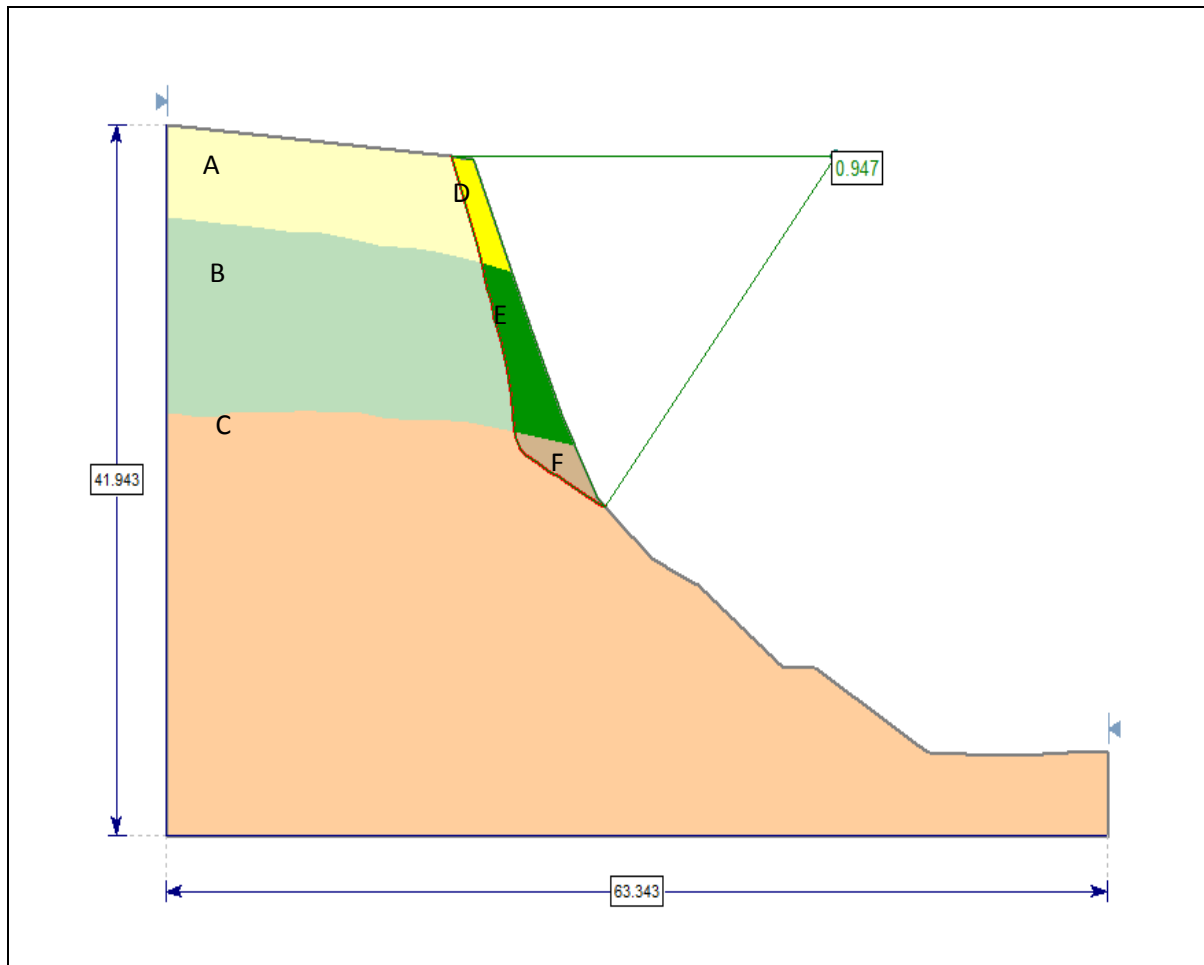


Figura 24-4 Modelamiento aplicando Bishop Simplificado

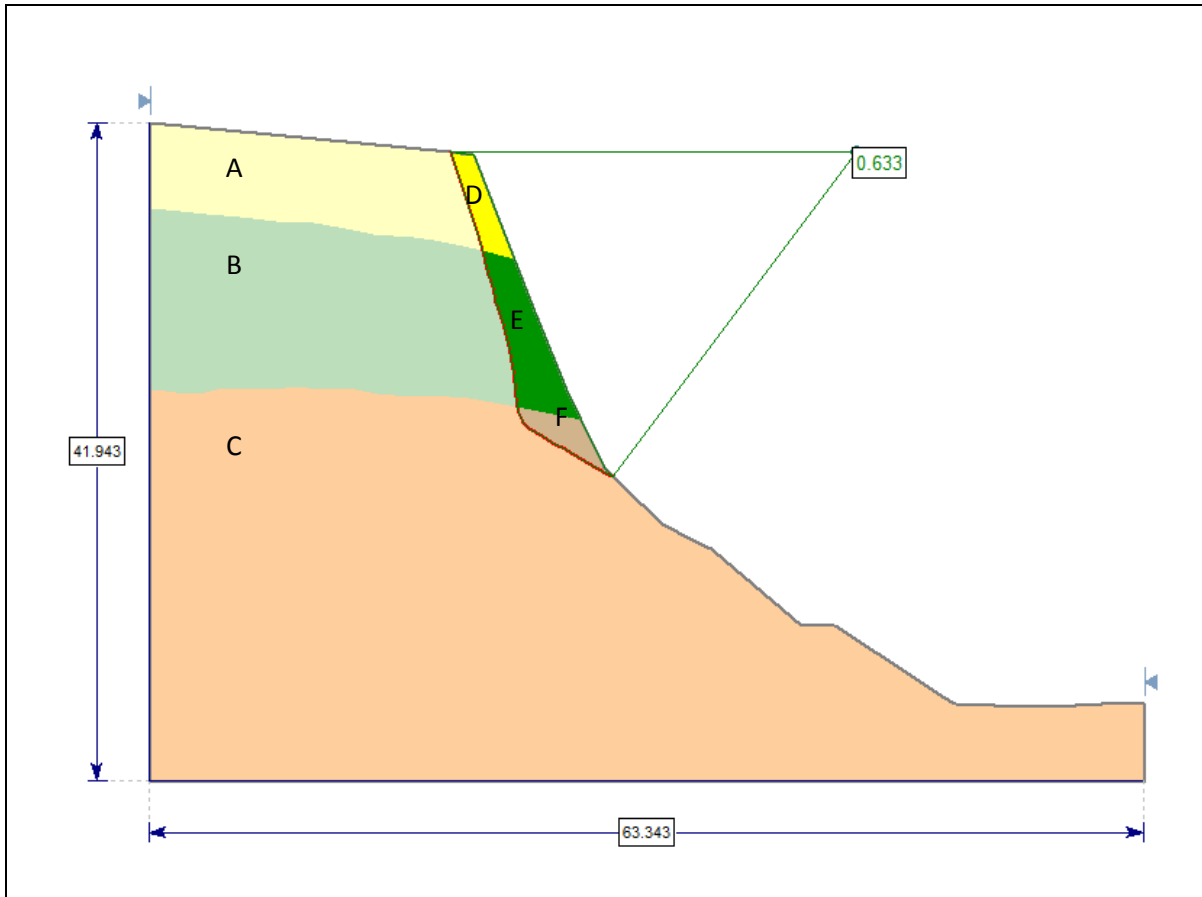


Figura 25-4 Modelamiento aplicando Janbu Simplificado

Tabla 10-4: Factores de seguridad.

Método de calculo	Factor de seguridad
Bishop Simplificado	0,947
Janbu Simplificado	0,633

Realizado por: Ronny Espín

De acuerdo a la tabla anterior se comprueba que para este caso el método de Janbu es más conservador que el método de Bishop, de igual manera en los dos casos se refleja una situación de falla del talud. Estos factores de seguridad descritos en la Tabla 10-4, se refieren a las condiciones con las cuales el talud falló anteriormente.

4.1.8 Factor de seguridad actual

Para la obtención del factor de seguridad actual se utilizaron los valores estimados en la Tabla 9-4. Se determinó el factor de seguridad actual en condiciones estáticas y pseudoestáticas aplicando Bishop y Janbu simplificado, en los dos casos el análisis incluyó el coeficiente intersticial r_u .

4.1.9 Análisis de estabilidad actual

A continuación se presentan los modelamientos del talud con el fin de obtener los valores actuales de los factores de seguridad aplicando Bishop y Janbu simplificado en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para los modelamientos en condiciones pseudoestáticas se eligió el factor Z, que para el caso de Macas corresponde a 0.25g.

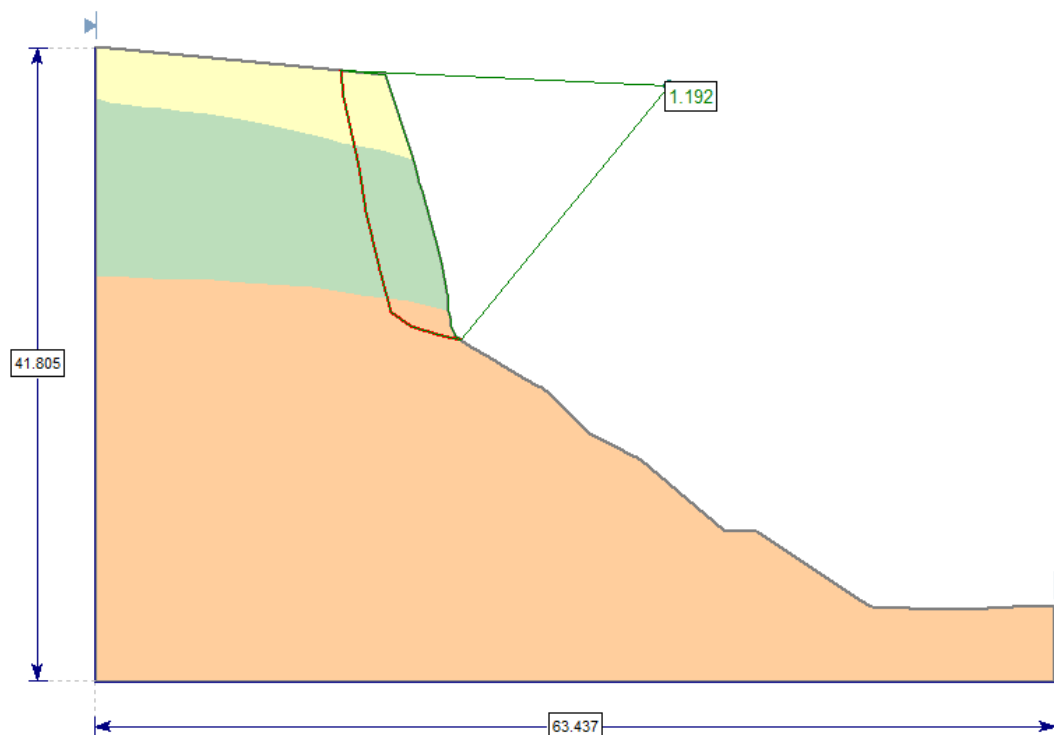


Figura 26-4 Modelamiento aplicando Bishop simplificado, condición estática.

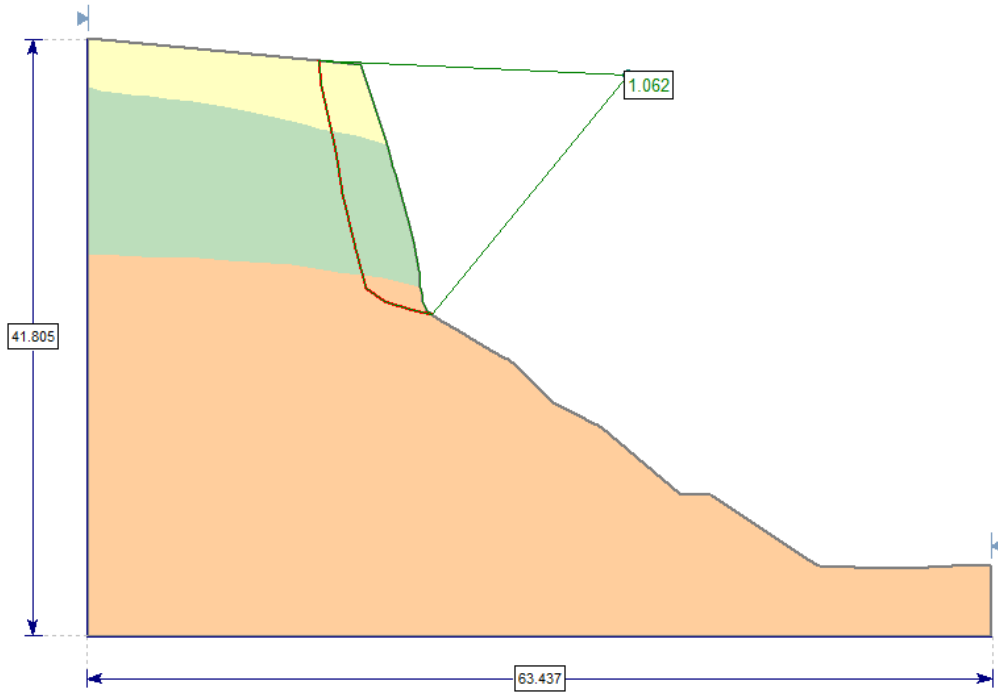


Figura 27-4 Modelamiento aplicando Janbu simplificado, condición estática

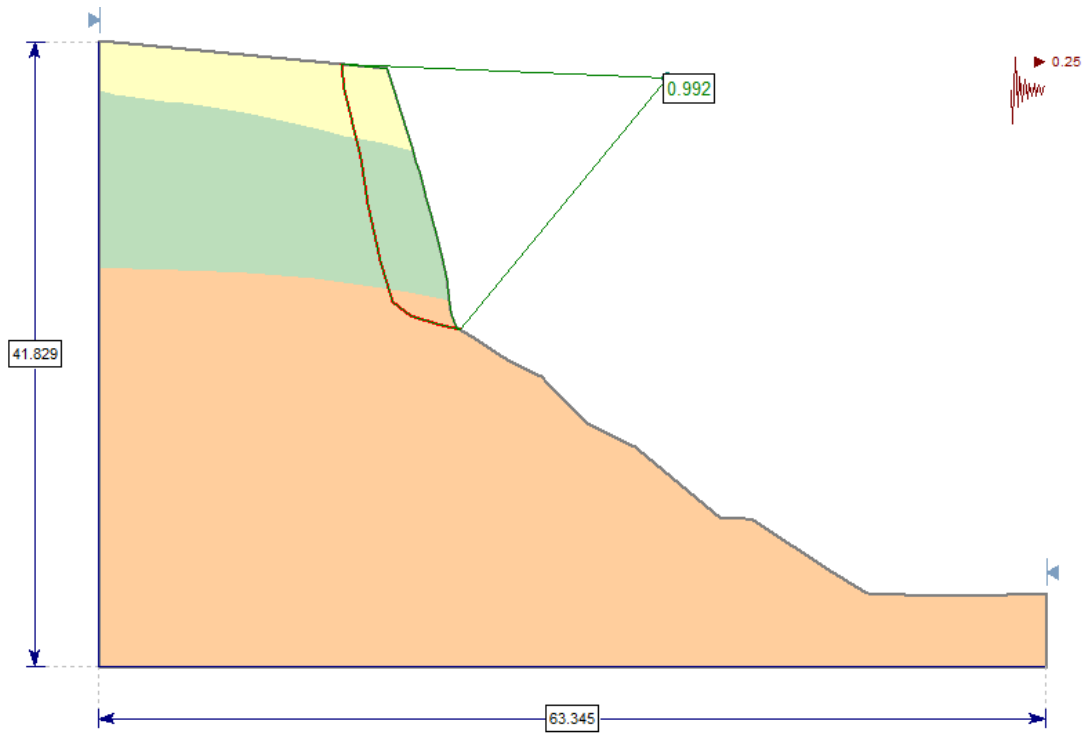


Figura 28-4 Modelamiento aplicando Bishop simplificado, condición pseudoestática

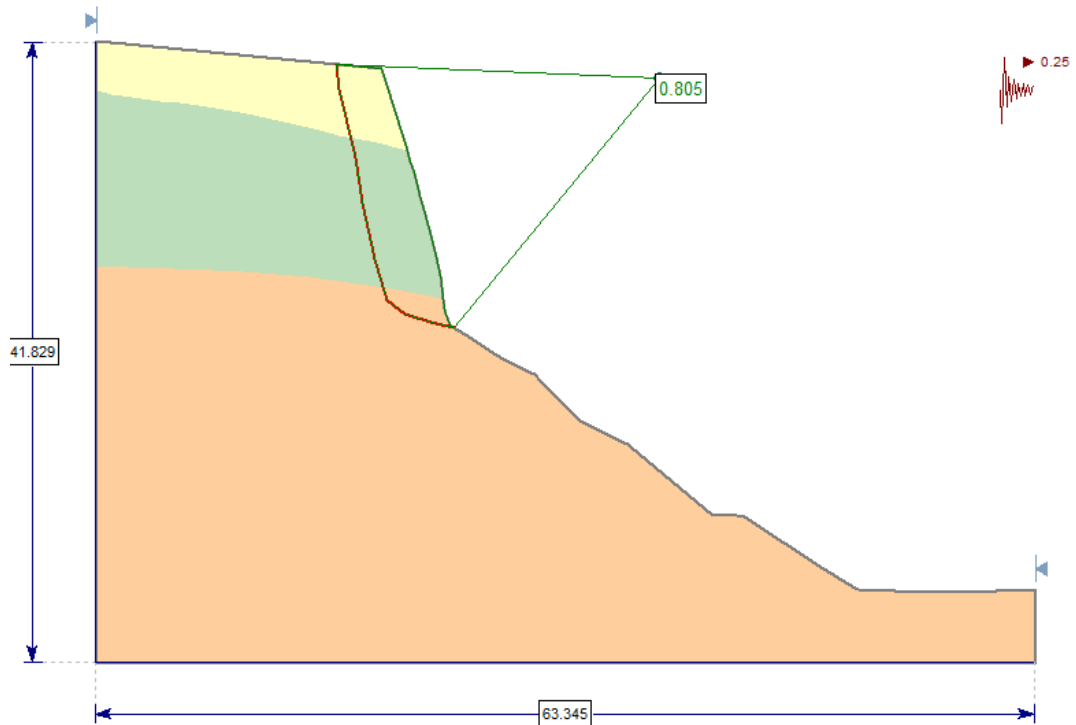


Figura 29-4 Modelamiento aplicando Janbu simplificado, condición pseudoestática.

CONCLUSIONES

En el talud ubicado en la abscisa 1+100 de la vía Macas – Puyo, que presenta problemas asociados a fenómenos de movimientos en masa se identificaron cuatro estratos con potencias diferentes incluyendo la cobertura vegetal.

Mediante el levantamiento topográfico se obtuvo una base del relieve del talud, sobre esta base se efectuó el mapeo geológico en el cual se pudo definir tres contactos litológicos. Los contactos denominados 2 y 3 se consideran más representativos ya que dividen estratos de mayor potencia mismos que controlan la estabilidad del talud. El contacto 1 separa la capa vegetal cuyo espesor no supera los 40cm del estrato aluvial subyacente.

De acuerdo a los resultados de laboratorio y del retro análisis se concluye que los estratos que conforman el talud objeto de este estudio presentan propiedades geomecánicas diferentes por tal razón tendrán comportamientos particulares frente a cualquier cambio en las condiciones físicas o antrópicas.

Después de cumplir con los objetivos planteados se concluye que el proceso de fenómeno de movimiento en masa que se produjo corresponde a un tipo de deslizamiento traslacional debido principalmente a la estratigrafía del talud. La superficie de falla que atraviesa el estrato coluvial y aluvial, ha sido definida como no circular su límite inferior termina claramente en el contacto 3 es decir entre el estrato aluvial y volcanoclástico. Esto se debe a las propiedades físicas y geomecánicas que posee cada estrato, la superficie de falla alcanza todo el estrato aluvial debido fundamentalmente a su matriz que dentro de la clasificación S.U.C.S corresponde a una arena limosa con grava, esta matriz principalmente arenosa ocasiona que al ingresar agua al estrato aluvial se erosione, por tal situación falla el material ya que aumenta la presión de poro y se reduce el esfuerzo efectivo. A parte el estrato aluvial está gobernado por la fricción esto agrava más la inmediatez del agua en el estrato. La superficie de falla no alcanza al estrato volcanoclástico debido a sus propiedades geomecánicas y dentro de ellas su cohesión es la que le da mayor resistencia. En consecuencia la superficie de falla va a continuar con la misma tendencia pero el avance del deslizamiento va a ser regresivo.

El factor de seguridad actual del talud en condiciones estáticas es 1.192 según Bishop y 1.062 según Janbu simplificado. En condiciones pseudoestáticas es 0.992 según Bishop y 0.805 según Janbu simplificado

RECOMENDACIONES

Es de suma importancia ejecutar obras que mejoren la resistencia del terreno expresadas de la siguiente manera:

Drenaje superficial

Limpiar periódicamente la cuneta que se encuentra actualmente construida en la coordenada (X820914.55, Y9744919.02), específicamente atrás de la cresta de talud estudiado.

Es necesario dar cierta pendiente y remover el material acumulado irregularmente en la cresta del talud.

Construir una zanja impermeabilizada en la corona del talud de forma paralela a este. La zanja debe ir ubicada a no más de 2m atrás de la corona del talud.

Para evitar en gran medida la infiltración de agua en la parte alta del talud se recomienda impermeabilizar la superficie de la cresta del talud. Para los trabajos de impermeabilización se podría utilizar: hormigón, membranas plásticas.

Drenaje profundo y elementos resistentes

Se recomienda aplicar la técnica soilnailing. Es conveniente instalar drenes horizontales con enturbación en la embocadura. El ángulo de inclinación debe estar comprendido entre 5 y 10°. Los drenes deben limpiarse periódicamente inyectando aire a presión. Los anclajes deben ser de bulones tipo pasivos.

Auscultación

Se recomienda instalar inclinómetros, piezómetros y extensómetros a una distancia considerable atrás de la corona del talud.

Resumen

La presente investigación propone: analizar las propiedades geomecánicas que conforman el talud de la vía Macas - Puyo en el tramo comprendido entre las abscisas 0+550 hasta 1+450 para definir mediante el método de equilibrio límite el factor de seguridad; el estudio se concentró en la abscisa 1+100 debido a que es el lugar donde se han producido deslizamientos y el talud expuesto presenta mayor vulnerabilidad ante estos fenómenos. El talud presenta problemas de inestabilidad que son evidentes a simple vista. El análisis de estabilidad se efectuó mediante el método del equilibrio límite. La parte principal de la investigación se basa en la realización de un retro análisis del deslizamiento por medio de caracterización geológica y geomorfológica. Se realizó trabajo de campo, laboratorio y gabinete, que permitió: la ubicación y toma de muestras, el mapeo de parámetros intrínsecos del talud como litología, grado de meteorización, geometría del talud. También se ejecutaron ensayos de laboratorio con el fin de obtener las propiedades de cada material, además se utilizó el software Slide 5.0 que permitió obtener un modelo del talud y principalmente estimar el factor de seguridad utilizando el criterio de rotura de Mohr Coulomb y los modelos matemáticos de Bishop y Janbu simplificado en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Posteriormente se analizaron e interpretaron los resultados donde se concluyó que el talud estudiado se encuentra con un factor de seguridad menor a la norma indicada para cortes en carreteras.

Palabras claves: estabilidad de taludes, equilibrio límite, propiedades geomecánicas, sismicidad, retroanálisis de talud.



ABSTRACT

This research proposes: analyze the geomechanical properties that make the batter Macas-Puyo road, in the section between the abscissa 0+ 550 to 1 + 450 to define equilibrium by the method of limiting the safety factor; The study focused on the abscissa 1 + 100 because it is the place where there have been landslides and slope exposure are more vulnerable to these phenomena's. It presents the slope instability problems that are evident to the naked eye. The stability analysis was performed using the method of limit equilibrium.

The main part of the research is based on the realization of a retro slippage analysis by geological and geomorphological characterization. A fieldwork, laboratory and cabinet, was conducted which allowed: the location and sampling, mapping intrinsic parameters of the slope as lithology, degree of weathering. Laboratory tests were also carried out in order to obtain the properties of each material, Slide 5.0 software was also used which yielded a model of the slope and primarily estimate the factor of safety using the Mohr failure criterion Coulomb and mathematical models Bishop and Janbu and simplified the static conditions and pseudoestaticas. They results were subsequently analyzed and interpreted where it was concluded that the slope is studying has a lower security factor to the specified standards of road cuts.

Key words: slope stability, limit equilibrium, geomechanical properties, seismicity, hindcast slope.



BIBLIOGRAFÍA

- Abramson, L.W., Lee T. S., Sharma S., & Boyce G.M. (1996). *Slope stability and stabilization methods*. Consultado el 10 de octubre 2015. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222010000300006&lng=es&tlng=es.
- Ana, T. (2009). *Comparativa de los métodos de cálculo en análisis de estabilidad de taludes*. Consultado el 17 de octubre 2015. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwigoaOMzp3LahUMPD4KHdRiAdMQFgg_MAY&url=http%3A%2F%2Ftesis.ipn.mx%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F5260%2F1%2FCOMPARATIVAMETODOS.pdf&usg=AFQjCNFYhcmiQcsQc9EG6ZXYoFqlq
- Alcántara, I. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, 7-25. Consultado el 10 de abril 2015. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002&lng=es&tlng=es.
- Alzate, R. C. (2005). *Estabilidad de taludes con aplicación en zonas húmedas tropicales*. Universidad Tecnológica del Chocó Diego Luis Córdoba. Departamento de Ingeniería de Minas y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Colombia.
- Arellano, R., Bielefeldt, J., & Correa, D. (s.f.). *Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas*. Consultado el 27 de diciembre 2015. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjDzc_bmqDLahWBXB4KHbYxAEgQFggcMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.u-cursos.cl%2Fdiplomados%2F2009%2F2%2FDMS-TFD%2F1%2Fmaterial_docente%2Fbajar%3Fid_material%3D264950&usg=AFQjC

- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragan, R. (2004). *La cuenca oriente geología y petroleo*. Quito: Institut de Recherche pour le Développement (IRD).
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador*. Quito: División de Investigación Geológico Minera.
- Braja, M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Thomson Learning.
- Crespo, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Mexico: Limus
- Cruden D. M. & D. J. Varnes. (1996). *Landslides types and processes*, in Turner, A. K. y R. L. . . Schuster (eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, SpecialReport 247, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 36-75.
- Alcántara Ayala, Irasema. (2000). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. *Investigaciones geográficas*, (41), 7-25. Recuperado en 06 de abril de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002&lng=es&tlng=es.
- Escobar, L., & Valencia, Y. (2012). Análisis de estabilidad y probabilidad de falla de dos taludes de suelo tropical en la autopista Medellín - Bogotá en el tramo de vía entre Marinilla y Santuario. 51-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169524098005>
- Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, C. i. (2015). Método de equilibrio límite Consultado el 12 de diciembre 2015. Obtenido de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6529/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Farfan, A. (2015). Metodología para el estudio geotécnico en fase de proyecto de grandes desmontes en roca alterada de obras lineales. Ávila - España.
- Guillier B, Chatelain J. L., Jaillard, É., Yepes, H., Poupinet, G. y Fels J.F. (2001). *Seismological evidence on the geometry of the orogenic system in central- northern. Ecuador (South America)*. *Geophysical Research Letters*, 28(19), 3749-3752

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educacion.

Hughes, R. y Pilatasig, L. (2002): *Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador*. *Tectonophysics*, 345, 29 – 48.

Instituto Geológico y Minero de España. (1987). *Manual de taludes*. España: IGME

Jaime Suarez Díaz. (2002). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*, cap. 4 . Colombia

Litherland, M, Aspden, J.A., & Jemielita, R.A. (1994): *The metamorphic belts of Ecuador*.

Overseas Memoir of the British Geological Survey, 11. Reino Unido

Marksteiner. & Alemán A. (1997). *Petroleum system along the Fold belt Associated to the Marañon-Oriente-Putumayo (MOP) Foreland Basin*. In VI Simposio Bolivariano "Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas", Memorias Tomo II: 63:74. Bolivia.

Monzier M, Robin C, Samaniego P, Hall M, Cotten J, Mothes P., & Arnaud N. (1999). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 90, 49-79. Obtenido de

<http://www.igepn.edu.ec/images/portal/historicas/volcanes/MP-Sangay.pdf>

Ordóñez, J., Vallejo, S., Bustillos, J., Hall, M., Andrade, D., Hidalgo, S., & Samaniego, P. (2015).

Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. Consultado el 21 de septiembre 2015..

Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/images/portal/historicas/volcanes/MP-Sangay.pdf>

baldSanhueza, & Rodriguez. (2013). Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Scielo*. Consultado el 12 de noviembre 2015.

Obtenido de [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000100003&script=sci_arttext#f4)

[915X2013000100003&script=sci_arttext#f4](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2013000100003&script=sci_arttext#f4)

Tang, W. H., Stark, T. D., & Angulo, M. (1999) "Reliability in back analysis of slope failures" *Soils and foundations* 39(5), 73

ANEXOS

Anexo A. Fotografías de los estratos que conforman el talud.

Se aprecia claramente el estrato aluvial.



Estrato volcanoclástico.



Anexo B. Toma de muestras

Limpieza de la parte meteorizada en el estrato volcanoclástico.



Clasto del estrato aluvial tomado como muestra para realizar el análisis petrográfico.



Relleno del apique realizado en la cresta del talud después del muestreo.



Anexo C. Preparación de las muestras a ser ensayadas

Ubicación de las muestras en el laboratorio.



Disgregación de las muestras.



Secado de las muestras al ambiente.



Muestra del estrato coluvial secado al ambiente.



Anexo D. Ensayos de laboratorio.

Tamizado del material.



Pesado del material.



Preparación del material para la realización de los límites atterberg.



Ensayo de límite líquido.



Pesado de las muestras, para ser secadas en el horno.



Ensayo del límite plástico.



Anexo E. Formatos de los ensayos de laboratorio

ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO				
Estrato Coluvial				
Operador: MTOP Morona Santiago			Norma: ASTM D-422	
TAMIZ N°	PESO RETENIDO parcial Gr	PESO RETENIDO acumulado Gr	% RETENIDA	% PASA
SERIE GRUESA				
1 1/2"	158,2	158,2	5,33	94,66
1"	0	158,2	5,33	94,66
3/4"	9	167,2	5,64	94,35
1/2"	16,8	184	6,20	93,79
3/8"	9,3	193,3	6,52	93,47
N° 4	14,2	207,5	7,00	92,99
PASA N° 4	2548,5	2756	92,99	7,00
TOTAL	2963,5	SERIE FINA		
N° 4				
10	0,64	0,64	0,19	92,80
16	0,46	1,1	0,33	92,66
40	1,1	2,2	0,67	92,32
100	2,53	4,73	1,45	91,54
200	3,16	7,89	2,41	90,57
PASA -200		295,41	90,57	2,41
TOTAL		PESO INICIAL HUMEDO	303,3	
		PESO INICIAL SECO	7,89	

Granulometría

Tamiz (mm)	Pasa (%)
100	100,00
75	100,00
60	100,00
45	95,00
30	94,00
20	93,00
15	92,50
10	92,00
7,5	91,50
5	91,00
3,75	90,50
2,5	90,00
1,5	89,50
1,0	89,00
0,75	88,50
0,6	88,00
0,45	87,50
0,3	87,00
0,2	86,50
0,15	86,00
0,1	85,50

ENSAYO DE LIMITES ATTERBERG

Estrato Coluvial

Operador: MTOP Morona Santiago

Norma: ASTM D-4318

CAPSULA N°	N° DE GOLPES	PESO cap. +suelo húmedo	PESO cap. +suelo seco	PESO CAPSULA	W%	PROMEDIO W%
------------	--------------	-------------------------	-----------------------	--------------	----	-------------

LIMITE LIQUIDO

29	40	22,12	16,51	8,54	70,38	
18	34	21,11	15,58	8,04	73,34	92,64
20	26	19,06	14,56	8,68	76,53	

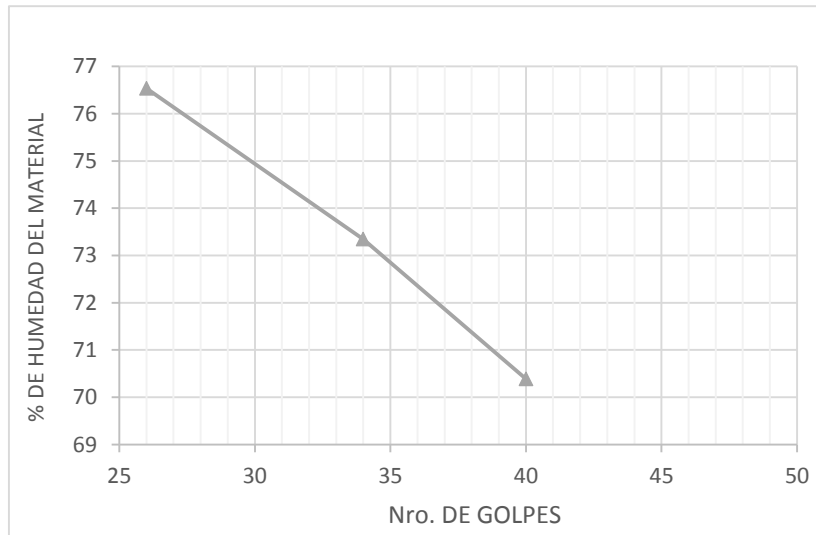
LIMITE PLASTICO

46		8,31	7,86	6,92	47,87	
33		8,08	7,57	6,55	50	51,55
41		7,63	7,17	6,36	56,79	

%L.L= 92,64

%L.P= 51,55

%I.P= 41,08



ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

Ensayo Aluvial

Operador: MTOP Morona Santiago

Norma: ASTM D-422

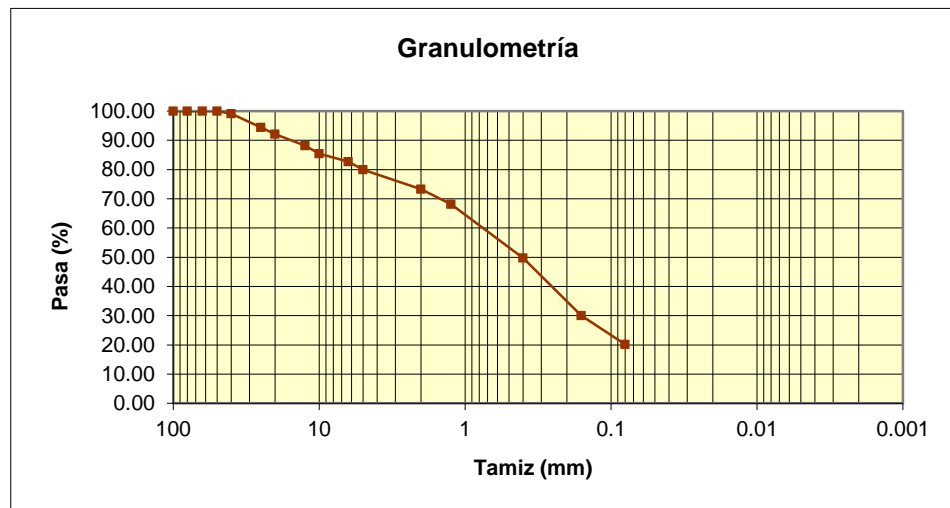
TAMIZ N°	PESO RETENIDO parcial Gr	PESO RETENIDO acumulado Gr	% RETENIDA	% PASA
----------	--------------------------	----------------------------	------------	--------

SERIE GRUESA

1 1/2"	78,7	78,7	0,85	99,15
1"	437,8	516,5	5,56	94,44
3/4"	218,2	734,7	7,91	92,09
1/2"	359,3	1094	11,78	88,22
3/8"	258,2	1352,2	14,56	85,44
N° 4	504	1856,2	19,98	80,02
PASA N° 4	5576,8	7433	80,02	19,98
TOTAL	9289,2			

SERIE FINA

N° 4				
10	43,6	43,6	6,76	73,25
16	33,1	76,7	11,90	68,12
40	118,7	195,4	30,31	49,70
100	126,6	322	49,95	30,06
200	63,4	385,4	59,79	20,23
PASA -200		130,4	20,23	59,79
TOTAL			PESO INICIAL HUMEDO	515,8
			PESO INICIAL SECO	385,4



ENSAYO DE GRANULOMETRIA POR TAMIZADO

Estrato Volcanoclástico

Operador: MTOP Morona Santiago

Norma: ASTM D-422

TAMIZ N°	PESO RETENIDO parcial Gr	PESO RETENIDO acumulado Gr	% RETENIDA	% PASA
----------	--------------------------	----------------------------	------------	--------

SERIE GRUESA

1 1/2"	481,7	481,7	7,28	92,72
1"	200,3	682	10,30	89,70
3/4"	339	1021	15,43	84,57
1/2"	301,5	1322,5	19,98	80,02
3/8"	185,5	1508	22,78	77,22
N° 4	417,8	1925,8	29,10	70,90
PASA N° 4	2767,2	4693	70,90	29,10

TOTAL

6618,8

SERIE FINA

N° 4				
10	46,1	46,1	6,89	64,02
16	38,9	85	12,70	58,21
40	98,4	183,4	27,40	43,50
100	98,2	281,6	42,07	28,83
200	40,4	322	48,11	22,80
PASA -200		152,6	22,80	48,11

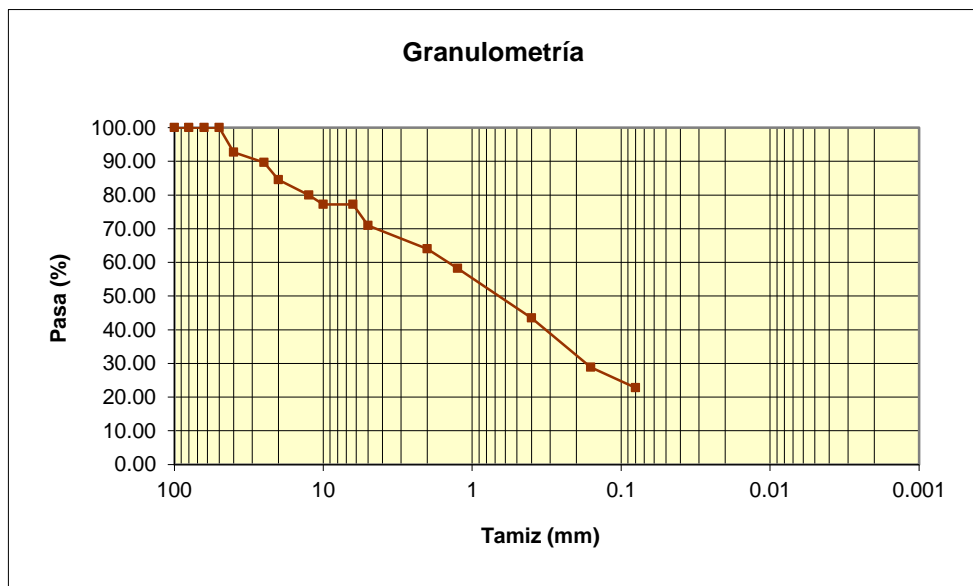
TOTAL

PESO INICIAL HUMEDO

474,6

PESO INICIAL SECO

322



ENSAYO DE LIMITES ATTERBERG

Estrato Volcanoclástico

Operador: MTOP Morona Santiago

Norma: ASTM D-4318

CAPSULA N°	N° DE GOLPES	PESO cap. +suelo húmedo	PESO cap. +suelo seco	PESO CAPSULA	W%	PROMEDIO W%
------------	--------------	-------------------------	-----------------------	--------------	----	-------------

LIMITE LIQUIDO

18	12	27,76	24,78	8,04	17,80	
26	8	28,54	25,55	9,1	18,17	17,43
42	4	25,87	23,21	8,8	18,45	

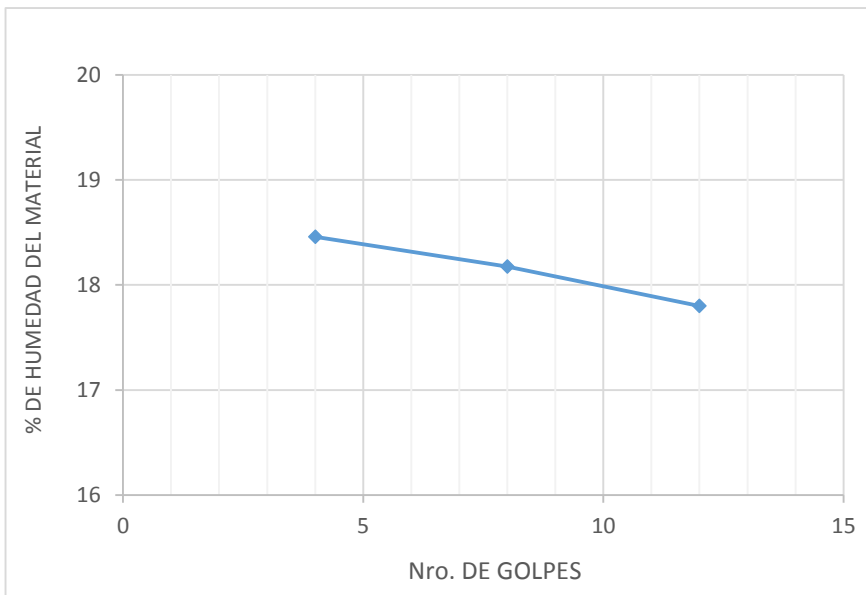
LIMITE PLASTICO

35		7,88	7,7	6,08	11,11	
41		8,18	7,99	6,36	11,65	11,40
46		10,13	9,8	6,92	11,45	

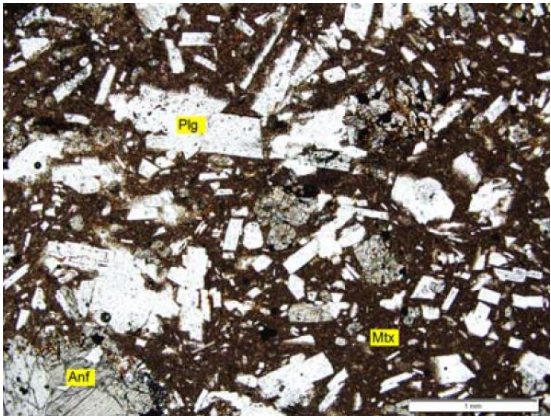
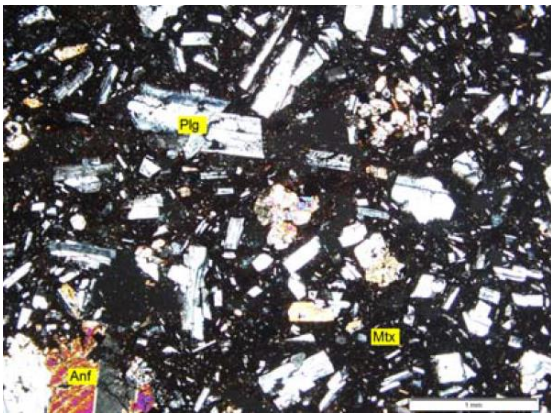
%L.L= 17,43

%L.P= 11,40

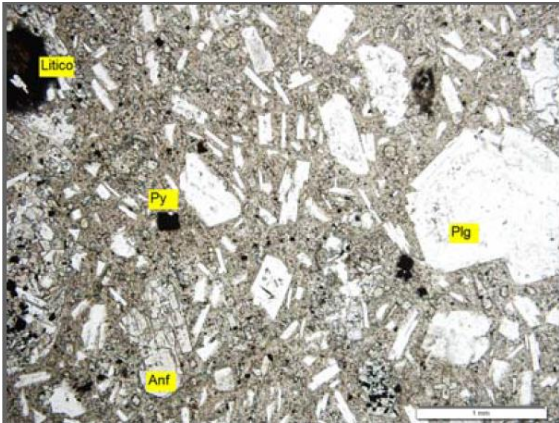
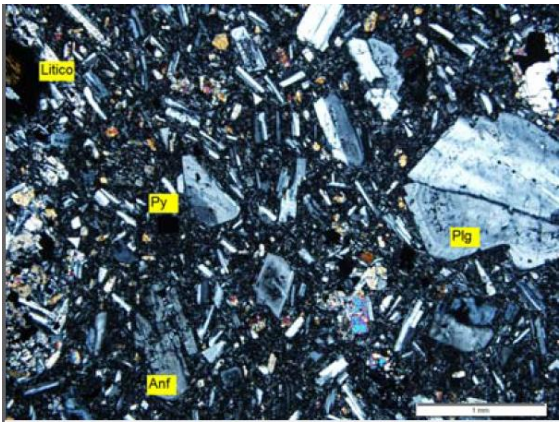
%I.P= 6,02



Anexo F. Análisis en lámina delgada de los clastos del estrato aluvial y volcanoclástico.

Descripción microscópica, clasto del estrato aluvial.			
Microtextura: Vítreo.			
Componentes	Minerales	Porcentajes %	Características ópticas
Fenocristales	Plagioclasa	35	De varios tamaños, macla polisintética es común, los bordes y microfracturas están rellenas de vidrio de color rojo.
	Anfíbol	25	De varios tamaños y birrefringencia, la forma de los cristales es euhedral.
	Ortoclasa	5	Forma euhedral, menos alterado que las plagioclasas.
	Líticos	8	De litología metamórfica y sedimentaria, los feldespatos del lítico se alteran a biotita.
Matriz	Vítrea	25	Compuesta de vidrio principalmente de color café pardo y en menor proporción criptocristales de plagioclasa.
Minerales opacos	Magnetita	2	Forma anhedral, en asociación mineral con la ortoclasa.
Observaciones	La mayor parte de los fenocristales presentan coronas de reacción que alteran los cristales a un material rojizo, por otra parte la ortoclasa se altera a arcilla.		
Nombre de la roca	Lava andesítica.		
Microfotografías.			
Luz Natural.		Luz polarizada.	
			

Ensayo realizado por el INIGEMM

Descripción microscópica, clasto del estrato volcanoclástico.			
Microtextura: Porfírica.			
Componentes	Minerales	Porcentajes %	Características ópticas
Fenocristales	Plagioclasa	30	De diferentes tamaños, las de menor tamaño son alargadas, al contrario los de mayor tamaño son redondeadas.
	Anfíbol	20	De diferentes tamaño pero no superan a las plagioclasas, los cristales son redondeados.
	Líticos	5	De tamaño similar a los fenocristales de plagioclasa, de origen metamórfico e ígneo (granito y anfíbolita).
Matriz	Cripcristalino	44	Compuesta de cripcristales de plagioclasa y opacos, aparentemente pirita y magnetita.
Minerales opacos	Pirita	1	Forma cubica diseminada menor al 1%.
Observaciones	Los líticos son metamórfica e ígnea, se consideran como xenolitos y pueden ser el basamento del centro volcánico.		
Nombre de la roca	Pórfido andesítico		
Microfotografías			
Luz Natural		Luz polarizada	
			

Ensayo realizado por el INIGEMM

Anexo G. Topografía tomada y modificada del estudio realizado en el año 2012. Lámina 1/9

Anexo H. Corte de la topografía del estudio realizado en el año 2012. Lámina 2/9

Anexo I. Perfil de la topografía del estudio realizado en el año 2012. Lámina 3/9

Anexo J. Topografía año 2015. Lámina 4/9

Anexo K. Corte de la topografía del año 2015. Lámina 5/9

Anexo L. Perfil de la topografía año 2015. Lámina 6/9

Anexo M Superficie de falla Lámina 7/9

Anexo N. Mapa geológico actual de la zona de deslizamiento. Lámina 8/9

Anexo O. Corte geológico actual de la zona de deslizamiento. Lámina 9/9