

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**GEOTECNIA DE INESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS CRÍTICAS,  
CARRETERA QUENGOMAYO – TANDAYOC, SOROCHUCO, CELENDÍN.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

**AUTOR:**

**Bach. Rodriguez Rojas Yurico Lili.**

**ASESOR:**

**Mcs. Ing. Quispe Mamani Crispín Zenón.**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2018**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la vida y las herramientas necesarias para la realización de esta tesis, ya que sin su bendición no habría podido culminar la presente.

A mi madre y familia, por todo el apoyo brindado, la cual es mi inspiración y motor para superarme día a día.

A los docentes de la E.A.P.I.G. por los conocimientos brindados a lo largo de la carrera universitaria, por su dedicación, conocimientos y orientación en este trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi madre Elidia Rojas Alaya, quien es el eje fundamental en mi vida y ejemplo de fortaleza, por brindarme su apoyo incondicional a pesar de las adversidades.

A mi padre, hermanos y familiares por motivarme, influenciar en mi desarrollo profesional y brindarme su apoyo.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	14
2.2. BASES TEÓRICAS.....	15
2.2.1. GEOMETRÍA DE UN TALUD.....	15
2.2.2. MECÁNICA DE SUELOS.....	16
2.2.3. CRITERIOS DE ROTURA.....	18
2.2.4. TIPOS DE DESLIZAMIENTOS.....	21
2.2.5. ESTADO DE ACTIVIDAD.....	23
2.2.6. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	25
2.2.7. SISMICIDAD.....	29
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	31
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.1. GEOGRÁFICA.....	32
3.1.2. POLÍTICA.....	33
3.1.3. ACCESIBILIDAD.....	33
3.1.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	33
3.2. PROCEDIMIENTOS.....	33
3.2.1. METODOLOGÍA.....	35
3.2.2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	36
3.2.3. TÉCNICAS.....	36
3.2.4. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.....	36
3.3. GEOLOGÍA LOCAL.....	37
3.3.1. VOLCÁNICO PORCULLA.....	37
3.3.2. DEPÓSITO CUATERNARIO.....	38

	Pàg.
3.4. GEOMORFOLOGÍA.....	39
3.4.1. PLANICIES.....	39
3.4.2. LADERAS.....	40
3.5. HIDROGEOLOGÍA.....	40
3.6. ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	41
3.6.1. CONDICIONES DE ANÁLISIS.....	42
3.6.2. ESTACIONES GEOTÉCNICAS.....	43
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	71
4.1.1. CONDICIONES NATURALES.....	73
4.1.2. CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS.....	73
4.1.3. CONDICIÓN DE SATURACIÓN PARCIAL.....	74
4.1.4. CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS + SATURACION PARCIAL.....	75
4.2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y PROPUESTA DE REMEDIACIÓN.....	76
4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	78
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	79
5.2. RECOMENDACIONES.....	79
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de suelos según SUCS.....	17
Tabla 2. Glosario para la caracterización de movimientos en masa.....	24
Tabla 3. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	26
Tabla 4. Variables de sismicidad para las componentes sísmicas.....	30
Tabla 5. Coordenadas límite de la zona de estudio.....	32
Tabla 6. Unidades geomorfométricas.....	39
Tabla 7. Estaciones documentadas en la carretera Quengomayo – Tandayoc.....	41
Tabla 8. Descripción de escenarios para el análisis de taludes.....	42
Tabla 9. Parámetros geotécnicos del talud N° 01.....	43
Tabla 10. Parámetros geotécnicos del talud N ° 02.....	46
Tabla 11. Parámetros geotécnicos del talud N ° 03.....	50
Tabla 12. Parámetros geotécnicos del talud N ° 04.....	53
Tabla 13. Parámetros geotécnicos del talud N ° 05.....	57
Tabla 14. Parámetros geotécnicos del talud N ° 06.....	60
Tabla 15. Parámetros geotécnicos del talud N ° 07.....	64
Tabla 16. Parámetros geotécnicos del talud N ° 08.....	67
Tabla 17. Resumen de los resultados más importantes de las 8 estaciones.....	72
Tabla 18. Rangos de factores de seguridad recomendados por Hoek (2007).....	72
Tabla 19. Análisis de estabilidad y propuesta de remediación.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de los elementos de un talud (Suárez, 2007).....	16
Figura 2 .desplazamiento de rotación en una ladera. (Suarez, J. 2009).....	23
Figura 3. Clasificación de los movimientos del terreno de acuerdo con su estado de actividad. (Bajracharya,2006).....	24
Figura 4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes (Suárez, 2007).....	25
Figura 5. Equilibrio o desequilibrio de fuerzas en un talud.....	28
Figura 6. Zonas sísmicas en el Perú y Cajamarca.....	29
Figura 7. Imagen satelital con la ubicación de la zona de estudio.....	32
Figura 8. Diagrama del diseño de la investigación.....	35
Figura 9. Imagen satelital de la red hidrográfica de la zona de estudio.....	40
Figura 10. Análisis slide del talud N° 1 en condiciones naturales.....	44
Figura 11. Análisis slide del talud N° 1 en condiciones pseudoestáticas.....	44
Figura 12. Análisis slide del talud N° 1 en condiciones de saturación parcial.....	45
Figura 13. Análisis slide del talud N° 1 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	45
Figura 14. Comparación del factor de seguridad.....	46
Figura 15. Análisis slide del talud N° 02 en condiciones naturales.....	47
Figura 16. Análisis slide del talud N° 02 en condiciones pseudoestáticas.....	48
Figura 17. Análisis slide del talud N° 02 en condiciones saturación parcial.....	48
Figura 18. Análisis slide del talud N° 02 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	49
Figura 19. Comparación del factor de seguridad.....	49
Figura 20. Análisis slide del talud N° 03 en condiciones naturales.....	51
Figura 21. Análisis slide del talud N° 03 en condiciones pseudoestáticas.....	51
Figura 22. Análisis slide del talud N° 03 en condiciones saturación parcial.....	52
Figura 23. Análisis slide del talud N° 03 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	52
Figura 24. Comparación del factor de seguridad.....	53
Figura 25. Análisis slide del talud N°0 4 en condiciones naturales.....	54
Figura 26. Análisis slide del talud N° 04 en condiciones pseudoestáticas.....	55
Figura 27. Análisis slide del talud N° 04 en condiciones saturación parcial.....	55
Figura 28. Análisis slide del talud N° 04 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	56
Figura 29. Comparación del factor de seguridad.....	56
Figura 30. Análisis slide del talud N° 05 en condiciones naturales.....	58
Figura 31. Análisis slide del talud N° 05 en condiciones pseudoestáticas.....	58
Figura 32. Análisis slide del talud N° 05 en condiciones saturación parcial.....	59
Figura 33. Análisis slide del talud N°0 5 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	59
Figura 34. Comparación del factor de seguridad.....	60
Figura 35. Análisis slide del talud N° 06 en condiciones naturales.....	61

Figura 36. Análisis slide del talud N° 06 en condiciones pseudoestáticas.....	62
Figura 37. Análisis slide del talud N° 06 en condiciones saturación parcial.....	62
Figura 38. Análisis slide del talud N° 06 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	63
Figura 39. Comparación del factor de seguridad.....	63
Figura 40. Análisis slide del talud N° 7 en condiciones naturales.....	65
Figura 41. Análisis slide del talud N° 7 en condiciones pseudoestáticas.....	65
Figura 42. Análisis slide del talud N° 7 en condiciones saturación parcial.....	66
Figura 43. Análisis slide del talud N° 7 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	66
Figura 44. Comparación del factor de seguridad.....	67
Figura 45. Análisis slide del talud N° 08 en condiciones naturales.....	68
Figura 46. Análisis slide del talud N° 08 en condiciones pseudoestáticas.....	69
Figura 47. Análisis slide del talud N° 08 en condiciones pseudoestáticas.....	69
Figura 48. Análisis slide del talud N° 08 en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	70
Figura 49. Comparación del factor de seguridad.....	70
Figura 50. Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones naturales.....	73
Figura 51. Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas.....	74
Figura 52. Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condición de saturación parcial.....	75
Figura 53. Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones pseudoestáticas + saturación parcial.....	76

## ÍNDICE DE FOTOS

	Pág.
<b>Foto 1.</b> Afloramiento de tufos de cristales dacíticos del volcánico porculla.....	37
<b>Foto 2.</b> Afloramiento de depósito cuaternario con presencia de bloques polilíticos.....	38
<b>Foto 3.</b> Clastos de diferente tamaño subredondeados del depósito cuaternario englobado en una matriz fina limo-arcilloso.....	38
<b>Foto 4.</b> Geomorfología del área de estudio.....	39
<b>Foto 5.</b> Laderas en la carretera Quengomayo – Tandayoc.....	40
<b>Foto 6.</b> Deposito volcanoclástico del volcánico Porculla.....	43
<b>Foto 7.</b> Depósito cuaternario con clastos subangulosos.....	47
<b>Foto 8.</b> Deslizamiento en volcánico Porculla.....	50
<b>Foto 9.</b> Deposito volcanoclástico del volcánico Porculla.....	54
<b>Foto 10.</b> Andesita argilizada del volcánico Porculla.....	57
<b>Foto 11.</b> Deslizamiento en depósito de lapilli y ceniza.....	61
<b>Foto 12.</b> Deposito piroclásticos del volcánico Porculla.....	64
<b>Foto 13.</b> Talud de elevada pendiente en volcánico Porculla.....	68

## RESUMEN

La carretera Quengomayo- Tandayoc, constituida por rocas del volcánico Porculla (Grupo Calipuy) y depósitos cuaternarios, afectada por el inadecuado manejo de taludes, donde la meteorización y las condiciones climáticas incrementan la inestabilidad, siendo los periodos de lluvia los de mayor riesgo de deslizamiento.

Esta investigación analiza el estudio del comportamiento geotécnico de las zonas críticas de taludes en la carretera y su influencia en la inestabilidad.

Dicho estudio comprende diferentes etapas desde la recopilación bibliográfica, evaluación geotécnica de campo (identificando las características litológicas, físicas y geomecánicas de los materiales que conforman los taludes y los factores condicionantes), localizando las zonas críticas susceptibles a deslizamiento; finalmente el procesamiento de resultados y análisis de estabilidad obteniendo un modelo geotécnico en el software slide V.6.0.

Se realizaron 8 estaciones; las que comprenden suelos, tobas y aglomerados volcánicos donde se usó la clasificación SUCS, de cada estación se obtuvieron muestras para ser llevadas al laboratorio de suelos de la universidad y así obtener los parámetros geotécnicos.

Se estimaron los factores de seguridad, donde se comprobó la inestabilidad para los de las 8 estaciones, evidenciando la mayor inestabilidad en condiciones de saturación parcial.

Las características litomorfoestructurales permiten evaluar el comportamiento de los taludes, determinando alternativas de remediación y mitigación especialmente en las zonas críticas. Finalmente se diseñaron los planos, mediante los cuales se puede realizar la zonificación de las zonas más críticas en épocas de lluvias intensas.

**Palabras clave:** Geotecnia, Litomorfoestructural, Inestabilidad, Zonas Críticas, Factor de seguridad, Susceptibilidad.

## ABSTRACT

The Quengomayo-Tandayoc highway, constituted by volcanic Porculla rocks of the calipuy group and quaternary deposits, affected by the improper handling of slopes, where weathering and climatic conditions increase the instability, with rain periods being the ones with the highest risk of landslides.

This investigation analyzes the study of the geotechnical behavior of the critical zones of slopes on the road and their influence on instability.

This study includes different stages from the bibliographic compilation, field geotechnical evaluation (identifying the lithological, physical and geomechanical characteristics of the materials that make up the slopes and the conditioning factors), locating the critical zones susceptible to landslide; finally the processing of results and stability analysis obtaining a geotechnical model in the software slide V.6.0.

8 stations were made; those that include soils, tuffs and volcanic agglomerates where the SUCS classification was used, from each station samples were obtained to be taken to the soil laboratory of the university and thus obtain the geotechnical parameters.

The safety factors were estimated, where the instability for those of the 8 stations was verified, evidencing the greater instability in conditions of partial saturation.

The lithomorphostructural characteristics allow to evaluate the behavior of the slopes, determining alternatives for remediation and mitigation, especially in critical areas. Finally, the plans were designed, by means of which the zoning of the most critical zones can be carried out in times of intense rains.

**Keywords:** Geotechnical, Litomorfostructural, Instability, Critical Zones, Safety Factor, Susceptibility.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

En la carretera interprovincial de Cajamarca hacia Sorochuco en el tramo correspondiente a Quengomayo – Tandayoc, encontramos afloramientos pertenecientes al volcánico Porculla y depósitos Cuaternarios; los cuales se encuentran meteorizados y expuestos a los factores climáticos, estos producen movimientos de masa en taludes, ocasionando deslizamientos e inestabilidad de taludes.

Las condiciones geodinámicas de estos taludes son inestables ya que se encuentra la presencia de movimientos de masa de los taludes siendo el factor determinante el agua proveniente de las lluvias, la topografía de la zona debido a las fuertes pendientes, estructuras geológicas, falla, fracturamientos, diaclasas. Siendo de importancia definir las características geomecánicas de las zonas críticas e inestables en el tramo de la carretera Quengomayo – Tandayoc de aproximadamente 7 km, determinando los factores de seguridad de cada talud. Como resultado tendrá un adecuado control y mitigación aplicando la técnica adecuada de estabilización para los taludes proporcionando a la población una mayor seguridad vial mejorando la transitabilidad de la zona.

Por ello nos formulamos ¿Cuál es el comportamiento geotécnico de la inestabilidad de taludes en zonas críticas, carretera Quengomayo – Tandayoc, Sorochuco, Celendín?

Infiriendo que las características geotécnicas de los taludes en el tramo de la carretera Quengomayo- Tandayoc, está relacionado con las características litológicas, morfoestructurales y el comportamiento geomecánico de los macizos rocos, depósitos cuaternarios; que son afectados por los factores detonantes como son las intensas precipitaciones, la infiltración y sismicidad producidas por la transitabilidad de los vehículos, provocando la inestabilidad de los taludes.

Esta investigación se justifica en razón de comprender los fenómenos geodinámicos en la zona de investigación comprendida en la carretera Quengomayo – Tandayoc, donde se encuentra expuesta a procesos de deslizamientos de taludes, siendo el agua uno de los

factores más importantes y determinantes de la inestabilidad, la cual produce diversos efectos sobre el talud.

El deslizamiento de taludes causa pérdidas económicas por que interrumpe la transitabilidad de los pobladores dificultando el desenvolvimiento tanto económico como turístico de las zonas afectadas.

Con el estudio geotécnico se podrán identificar y evaluar las zonas críticas las que están propensas a mayor peligro de deslizamientos, determinando los factores de seguridad de los taludes con la ayuda del software SLIDE; teniendo los resultados se podrán tomar las medidas o precauciones necesarias para prevenir desastres, estas medidas deberán ser tomadas por parte de los gobiernos locales y distritales, para tener un control y mejoramiento de los taludes.

Con esta investigación se beneficiarán los pobladores de Sorochuco.

La presente investigación se busca conocer las características geotécnicas de los taludes en el tramo de la carretera Quengomayo – Tandayoc, y así realizar una zonificación de los taludes más inestables para la mitigación de riesgos geotécnicos, para la libre transitabilidad de la zona.

La investigación se realizó en el análisis y evaluación geotécnica de zonas críticas de la carretera Quengomayo – Tandayoc, con el objetivo general de Caracterizar geotécnicamente la inestabilidad de los taludes en zonas críticas, carretera Quengomayo – Tandayoc, Sorochuco, Celendín. Y los objetivos específicos de: Identificar los parámetros geotécnicos de las zonas críticas del tramo de carretera Quengomayo – Tandayoc, Determinar el comportamiento geotécnico de los taludes, Definir el factor de seguridad de los taludes críticos y Elaborar el mapa geotécnico.

El segundo capítulo refiere la descripción del marco teórico, bases teóricas y la importancia que tiene el estudio desde el punto geotécnico para lograr la realización satisfactoria de la investigación.

En el tercer capítulo se describen los métodos usados para la evaluación geotécnica de la carretera Quengomayo – Tandayoc y la descripción de su entorno geológico, incluyendo los datos recolectados para su posterior análisis y procesamiento de datos mediante el Software Slide.

En el cuarto capítulo se exponen los resultados obtenidos de cada estación y su análisis correspondiente.

En el quinto capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegó con el estudio realizado. Respondiéndose al objetivo principal y específicos de la tesis, así mismo se mencionan las recomendaciones respectivas.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes teóricos.

**Wilson (1984).** En el Boletín N° 38 de la Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepen, describe el área de los alrededores de Celendín geomorfológicamente como superficies de erosión como evidencias de pausa, algunas de las cuales habrían sido bastante largas, durante el levantamiento andino; clasificándolo entre los 2900 y 3600 m.s.n.m.

Por tanto, se considera que el levantamiento de los andes ocurrió por medio de una serie de levantamientos abruptos, de algunos centenares de metros cada uno, separados por asces de estabilidad relativa, las cuales eran suficientemente largas para permitir el desarrollo de las superficies de erosión.

**Zavala & Rosado (2011).** “Boletín N° 44 Riesgo Geológico en la Región de Cajamarca”, en el ámbito regional como parte de las cuencas medio – altas de la vertiente pacífica, donde se identifican las zonas con deslizamientos y otros eventos geodinámicos.

**Mercado (2014).** Realizo la tesis denominada: Análisis de inestabilidad de taludes en zonas críticas en la carretera Cajamarca – Celendín en el tramo Km. 52+000 – Km 94+400, donde analiza la inestabilidad de taludes en zonas críticas, teniendo en cuenta características litológicas, geomorfológicas, estructurales. Analiza también los factores de seguridad en zonas críticas. Concluye que el principal agente de erosión es el agua, ya que funciona como lubricante y favorece la cinemática de los macizos rocosos mediante la infiltración en las formaciones Pariatambo, Cajamarca y el Grupo Quilquiñan.

**Zavaleta (2016).** Desarrollo la tesis: Evaluación Geotécnica En Zonas Críticas De La Carretera Cajabamba Cauday, donde se analiza la inestabilidad de los taludes de la carretera, teniendo en cuenta el contexto geológico local, regional

y su relación estrecha que existen con los agentes geodinámicos, además se establece las diferencias entre los factores de seguridad de los taludes calculados con esfuerzos totales, efectivos y un factor sísmico. Los factores de seguridad obtenidos como resultado del análisis muestran inestabilidad ante condiciones de sobresaturación y sismicidad. Así mismo las características litológicas permiten evaluar la composición y comportamiento del talud generando alternativas de remediación y mitigación especialmente en las zonas críticas que se encuentran circundando quebradas.

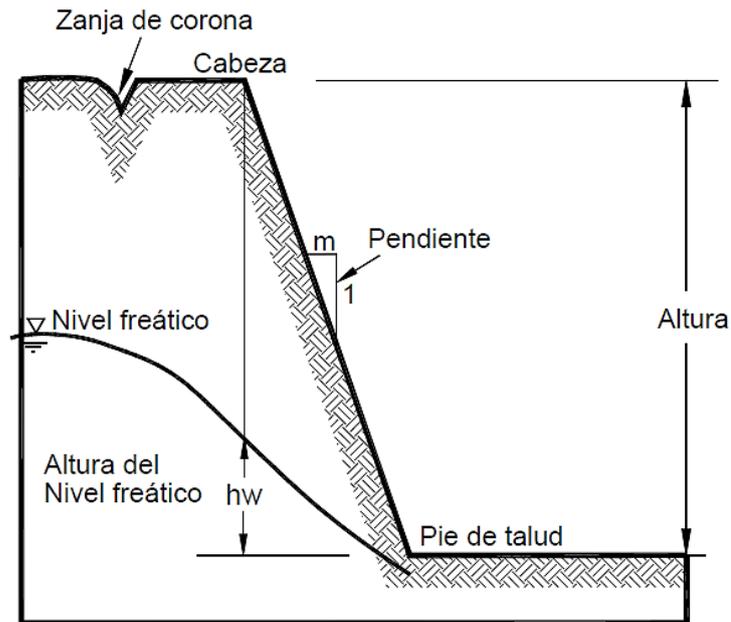
## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1. Geometría de un talud

Un “talud” o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como “ladera” cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y “talud” cuando se conformó artificialmente (Suárez, 2007).

En el talud se definen los siguientes elementos:

- a) **Altura:** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- b) **Cabeza:** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- c) **Pie:** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- d) **Altura de nivel freático:** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- e) **Pendiente:** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45°, 100%, o 1H: 1V.



*Figura 1.* Esquema de los elementos de un talud (Suárez, 2007).

### 2.2.2. Mecánica de suelos

Se utilizaron las teorías sobre el comportamiento de los materiales no consolidados que sirvieron para determinar su granulometría y límites de Atterberg.

#### **Descripción y clasificación de los suelos**

Los suelos fueron clasificados teniendo en cuenta el protocolo SUCS - AASHTO, debido a la complejidad de los materiales y las diferencias de tamaño de las partículas y composición. Por lo cual se han clasificado en cuatro grupos en función a su granulometría. (González 2004).

**Tabla 1.** Clasificación de suelos según el "Sistema de Clasificación de Suelos Unificado" SUCS.

Divisiones Principales		Símbolos del grupo	Nombres Típicos
<b>Suelos de Grano Grueso</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz N° 200	<b>Gravas</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz N° 4 (4,76 mm)	<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GW</b> Gravas, bien graduadas, mezclas grava - arena, pocos finos o sin finos.
		<b>Gravas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>GP</b> Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
		<b>Arenas limpias</b> (pocos o sin finos)	<b>GM</b> Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>GC</b> Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	<b>Arenas</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz N° 4 (4,76 mm)	<b>Arenas limpias</b> (pocos o sin finos)	<b>SW</b> Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	<b>SP</b> Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			<b>SM</b> Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			<b>SC</b> Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
<b>Suelos de Grano Fino</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz N° 200	<b>Limos y arcillas:</b> Limite líquido menor de 50	<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		<b>OL</b>	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	<b>Limos y arcillas:</b> Limite líquido mayor de 50	<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos		<b>PT</b>	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

Fuente: (González, 2006).

## Tensiones Efectivas

El suelo no es un material uniforme sino un conjunto de partículas en las que existen huecos o poros. En el caso más general, los suelos pueden contener tres fases distintas: Fase sólida constituida por distintas partículas, Fase líquida constituida por agua relleno total o parcialmente los poros, Fase gaseosa al igual que la fase líquida ocupada total o parcialmente los poros.

De este carácter multifásico se deriva la principal dificultad para comprender el comportamiento del suelo ya que su respuesta depende de la compleja interacción entre las diferentes fases que lo componen.

Si sobre el estado del suelo original se le añaden nuevos esfuerzos, bien debidos a procesos geológicos o por actividad antropógena, éste podrá tender hacia un nuevo estado, representado por una nueva estructura y nuevos direccionales preferenciales. (González 2004).

### 2.2.3. Criterios de rotura

#### 2.2.3.1. Criterios de Hoek y Brown

El criterio es válido para evaluar la resistencia de la matriz rocosa, siendo no lineal el criterio donde representa la gráfica de rotura siendo una curva de tipo cóncava. Desarrollado inicialmente para su aplicación a macizos rocosos fracturados sin alterar su matriz rocosa resistente. Proponiendo Hoek (1985) el Índice Geológico de Resistencia GSI (Geological Strength Index), que evalúa la calidad del macizo en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. Como consecuencia de problemas prácticos se tuvieron que introducir la idea de macizos “inalterados” y “alterados” por Hoek y Brown (1988), y la introducción de un criterio modificado para macizos de muy mala calidad con una tendencia a cero (0) (Hoek Wood y Shah, 1992). La resistencia del macizo rocoso está definida por la expresión (Hoek y Brown, 1980):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \sqrt{m \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s}$$

Donde  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son los esfuerzos principales efectivos mayor y menor respectivamente,  $\sigma_{ci}$  es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta,  $m$  y  $s$  son constantes adimensionales de Hoek y Brown para la roca del material, con  $s=1$  para roca intacta. Los valores de la resistencia a la compresión uniaxial,  $m$ ,  $s$  pueden ser obtenidos a partir de ensayos de compresión uniaxial ( $\sigma_{ci}$ ) y triaxiales ( $m$ ,  $s$ ,  $a$ ). Estos últimos parámetros pueden obtenerse también a partir de observación en terreno y las siguientes relaciones (Hoek et al., 2002; considera casos particulares de estados tensionales en taludes y el factor de “disturbancia” sobre macizos rocosos):

$$m = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Alternativamente, para valores de  $GSI > 25$  éste puede determinarse a partir del valor del RMR (Bieniawski, 1989), donde  $GSI = RMR89 - 5$ .

Para determinar el valor de  $m$  se requiere conocer  $m_i$ . Este último valor se obtiene a partir de ensayos de compresión uniaxial o bien se estima a través de tablas, donde se le asocia un valor de acuerdo al tipo de roca. En tanto, el valor de  $D$  es el llamado “factor de perturbación” y depende del grado de perturbación y relajación de stress de la roca y varía entre 0 (no perturbada) y 1 (muy perturbada) (Hoek et al., 2002).

Hoek (1990) trató la desviación de las resistencias cohesivas y de los ángulos de fricción equivalentes para diferentes situaciones prácticas. Estas deducciones se basaron en las tangentes a la envolvente de Mohr obtenida por Brown. Hoek (1994) sugirió que la resistencia cohesiva determinada al ajustar una tangente a la envolvente curvilínea de Mohr es un valor sobredimensionado y pueden dar unos resultados optimistas en los cálculos de estabilidad. Consecuente, pueden ser más apropiados al ajustar una relación lineal de Mohr – Coulomb por método de mínimos cuadrados. Hoek y Brown (1997) intentaron consolidar todos los procesos anteriores en una presentación comprensiva del criterio de rotura.

### 2.2.3.2. Criterios de Mohr – Coulomb

El criterio de rotura Mohr – Coulomb, fue propuesto por primera vez por Coulomb en el año 1773, inicialmente pensado para el estudio en suelos, siendo un criterio lineal. Esto significa que la ecuación que define la superficie de fluencia es una línea recta. Para el criterio, se define la rotura en función de la tensión tangencial y la tensión normal en un plano.

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

Dónde:

$c'$  = la cohesión, en efectivas. Es una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.

$\phi'$  = el ángulo de rozamiento interno =  $\tau$  la tensión tangencial que actúa en el plano de rotura  $\sigma$  = la tensión normal que actúa en el plano de rotura

Es un criterio lineal que es ampliamente usado para definir las condiciones de falla en un suelo, asumiendo el comportamiento lineal que éstos generalmente presentan. Entre los términos que lo componen, la cohesión es una medida de la adherencia entre las partículas que componen el suelo. En suelos granulares secos y saturados la cohesión se supone nula (“suelos no cohesivos”); el caso opuesto lo representan los suelos finos, especialmente las arcillas, en cuyo comportamiento la cohesión juega un rol primordial.

Por otro lado, el ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de roce entre partículas ( $\mu = \tan \phi$ ). El ángulo de fricción depende de varios factores como son: tamaño y forma de las partículas, granulometría y densidad (Lambe & Whitman, 1972).

De esta forma, la recta definida genera una envolvente sobre los círculos que representan el comportamiento del suelo ante las sollicitaciones a las que es expuesto. Dicha envolvente recibe el nombre de “envolvente de Mohr” (quien plantea la teoría general de la resistencia en 1882).

El suelo será estable para un estado de esfuerzos donde el círculo de Mohr quede totalmente por debajo de la envolvente, la resistencia máxima del suelo será alcanzada en un plano donde el círculo de Mohr sea tangente a la

envolvente. Este plano crítico forma un ángulo  $\theta_{cr}$  con el plano sobre el cual actúa el esfuerzo principal  $\sigma_1$ , donde  $\theta_{cr} = \pi/4 + \phi/2 = 45^\circ + \phi/2$ , en un suelo no puede generarse un estado de esfuerzos tal que el círculo de Mohr corte a la envolvente, ya que esto implica la falla (Lambe & Whitman, 1972).

De la ley de Mohr-Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:

- **Resistencia por Fricción ( $\tan\phi$ ):** se debe al roce entre partículas cuando están sometidas a esfuerzos normales.
- **Resistencia por Cohesión (c):** se debe a fuerzas internas físico-químicas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

Los suelos no cohesivos como la grava, arena, y limos no plásticos se asumen sin cohesión, y ensayos de laboratorio lo confirman. Casos de suelos típicos que merecen ser mencionados corresponden a los suelos no cohesivos saturados, arcillas normalmente consolidadas y limos arcillosos. El valor de  $\phi$  para suelos no cohesivos saturados varía generalmente entre  $27^\circ$  y  $45^\circ$  grados, dependiendo por ejemplo del aumento de la densidad relativa, de la granulometría y de la forma de las partículas (Wu, 1996). El valor de este parámetro en un suelo bien gradado puede ser varios grados mayores que la de un suelo uniforme del mismo tamaño y forma de partículas. Lo mismo se puede decir para un suelo compuesto por partículas angulares en comparación con un suelo de partículas redondeadas. La distribución de estas tensiones en un talud se asocia al tipo de movimiento que experimenta ésta a lo largo de la superficie de cizalle. (Lambe & Whitman, 1972).

#### 2.2.4. Tipos de deslizamientos

##### 2.2.4.1. Deslizamiento Traslacional

En este caso, se genera una superficie de cizalla aproximadamente plana, donde la masa deslizará por una superficie menos resistente que corresponderá a discontinuidades presentes ya sea en la roca o el suelo, como fallas, diaclasas, superficies de estratificación o superficies de contacto entre roca y suelo. Este tipo de deslizamiento es en general más superficial que los rotacionales, además mientras la rotación de estos últimos tiende a estabilizar la masa desplazada, el deslizamiento traslacional puede continuar si la superficie de

ruptura se mantiene lo suficientemente inclinada. A medida que el deslizamiento traslacional continúa, y si la velocidad de éste o su contenido de agua aumentan, el desplazamiento podría tomar una forma más parecida a un flujo de detritos. (Cruden y Varnes 1996)

#### **2.2.4.2. Deslizamiento en Cuña**

Este tipo de deslizamiento está delimitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud. La velocidad de los movimientos traslacionales puede variar desde rápida a extremadamente rápida. (Varnes 1996)

#### **2.2.4.3. Deslizamiento Rotacional**

Este tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava; presentando una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento. Pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1m/s. Estos movimientos ocurren en materiales homogéneos, por lo cual tienen gran incidencia sobre rellenos. Sin embargo, los materiales naturales no son idealmente uniformes, por esto los movimientos en laderas se orientan, al menos parcialmente, por las discontinuidades y zonas de debilidad que estos presentan. La generación de este tipo de remoción está asociada a pendientes que varían entre 20° y 40° (Soeters & Westen, 1996).

El escarpe principal generado por un deslizamiento rotacional, es cercanamente vertical e inestable, en consecuencia, pequeños movimientos podrán generar la retrogresión del deslizamiento. A esto se suman los pequeños deslizamientos que se podrán generar en las paredes de la superficie cóncava de ruptura, dada su inestabilidad. El nivel de agua no suele presentarse a mucha profundidad y podrá drenarse de tal manera de mantener húmeda la superficie y la zona del escarpe, generando potenciales deslizamientos en la cabecera una vez que el escarpe ha alcanzado pendientes suficientes. La vegetación en materiales deslizados se observa caótica y perturbada, y la ausencia de cultivos o diferencias en el uso del suelo con respecto a zonas aledañas hablan de la actividad de los movimientos (Soeters & Westen, 1996).

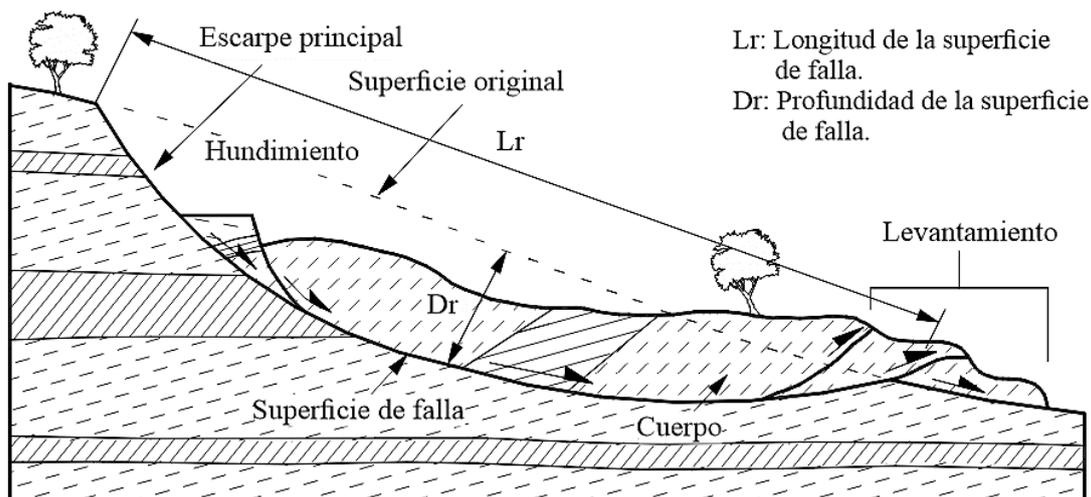


Figura 2 .Desplazamiento de rotación en una ladera. (Suarez, J. 2009)

### 2.2.5. Estado de actividad

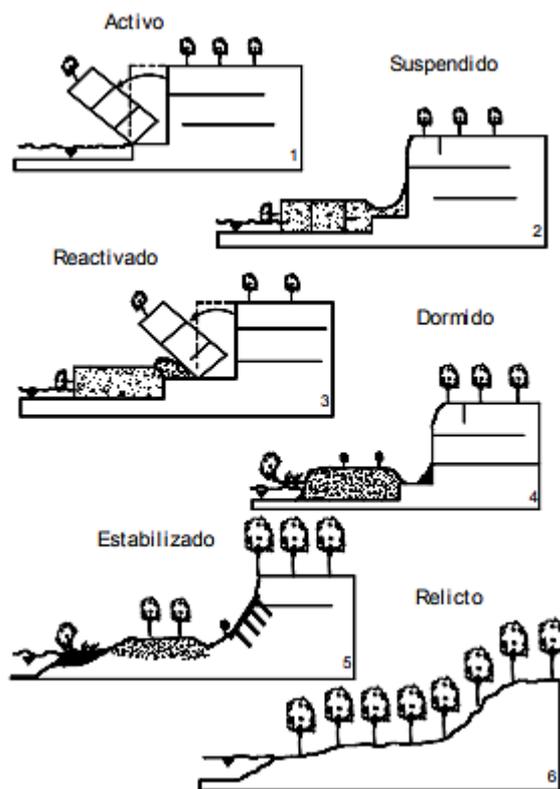
De acuerdo con su estado actual de actividad, los deslizamientos se clasifican de la siguiente forma (Bajracharya,2006).

- **Activo.** Deslizamiento que se está moviendo en los actuales momentos.
- **Reactivado.** Movimiento que nuevamente está activo, después de haber estado inactivo. Por ejemplo, deslizamientos reactivados sobre antiguas superficies de falla.
- **Suspendido.** Deslizamientos que han estado activos durante los últimos ciclos estacionales, pero que no se están moviendo en la actualidad.
- **Inactivo.** Deslizamiento que lleva varios ciclos estacionales, sin actividad.
- **Dormido.** Deslizamiento inactivo donde aparentemente permanecen las causas del movimiento.
- **Abandonado.** Es el caso de un río que cambió de curso y que estaba produciendo un deslizamiento.
- **Estabilizado.** Movimiento suspendido por obras remediales artificiales.
- **Relicto.** Deslizamientos que probablemente ocurrió hace varios miles de años.

**Tabla 2.** *Glosario para la caracterización de movimientos en masa.*

Tipo	Secuencia	Estado de actividad	Tamaño	Velocidad	Humedad	Material
Caído	Progresivo	Activado	Extremadamente Pequeño	Extremadamente rápido	Seco	Roca
Inclinación	Retrogresivo	Reactivado	Muy Pequeño	Muy rápido	Húmedo	Tierra
Rotación	Ampliándose	Suspendido	Pequeño	Rápido Moderado	Mojado	Residuos
Traslación	Alargándose	Inactivo	Mediano	Lento	Muy mojado	Lodo
Extensión Lateral	Confinado	Dormido	Medianamente grande	Muy lento		
Hundimiento	Disminuyendo	Abandonado	Muy grande	Extremadamente lento		
Flujo		Estabilizado	Extremadamente grande			
Avalancha		Relicto				
Lahar						

Fuente: (Ampliado de Cruden y Varnes, 1996)



**Figura 3.** Clasificación de los movimientos del terreno de acuerdo con su estado de actividad. (Bajracharya, 2006).

### 2.2.6. Análisis de estabilidad

Dentro del análisis de la estabilidad de taludes prima la determinación de su factor de seguridad ya sean diseñados para durar temporal o permanentemente, e incluyendo las cargas dinámicas o estáticas ejercidas sobre ellos. Es por ello que se debe entender el tipo de falla o rotura que se produzca en los taludes, ya que no se comportan igual en rocas que en suelos e incluso pueden combinarse, de esta forma predeciremos los distintos fenómenos. (Suarez, 1998)

#### 2.2.6.1. Metodologías para el análisis de la estabilidad.

Dentro de las metodologías encontramos tres métodos los de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos.

Los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor aproximación al detalle, de las condiciones de estabilidad en la mayoría de los casos de evaluación de estabilidad de taludes. Sin embargo, los métodos de límite de equilibrio, son más sencillos de utilizar y permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación (“Toppling”) y las fallas en cuña. Igualmente, los métodos de límite de equilibrio permiten el análisis combinado con técnicas probabilísticas. Según (Stead y otros, 2000). (Suárez, 2009, pág. 128)

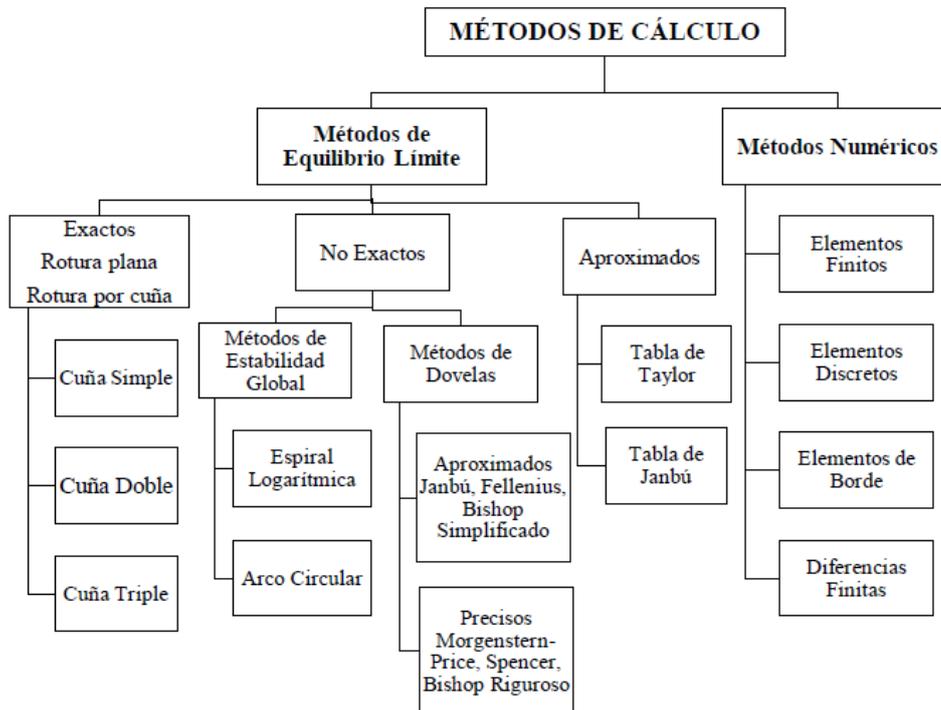


Figura 4. Métodos de análisis de estabilidad de taludes (Suárez, 2007).

**Tabla 3. Métodos de análisis de estabilidad de taludes.**

<b>Métodos de análisis de estabilidad de taludes</b>			
<b>Método</b>	<b>Superficies de Falla</b>	<b>Equilibrio</b>	<b>Características</b>
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: (Suárez, 2009, pág. 136)

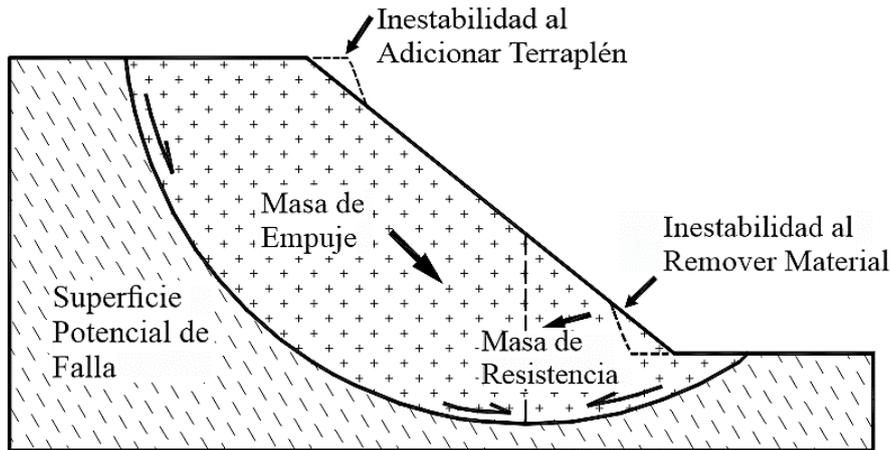
Los estudios geológicos y geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables.

Los análisis de estabilidad permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad, y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadores que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades.

La metodología seguida en los estudios de estabilidad de taludes parte del conocimiento geológico, hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo, que, junto con el análisis de los factores externos que actúan sobre el terreno, definen el comportamiento de los materiales y sus modelos y mecanismos de deformación y rotura. (Gonzales de Vallejo, 2002)

El análisis de estabilidad se aplica al diseño de taludes cuando estos presentan problemas de inestabilidad, en el cual se debe elegir un coeficiente de seguridad adecuado, dependiendo de la finalidad de la excavación y del carácter temporal o definitivo del talud, combinando los aspectos de seguridad, costos de ejecución, consecuencias o riesgos que podrían causar su rotura.

Basándose en un método de análisis de inestabilidad en un planeamiento físico - matemático en la que se intervienen las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que interactúan sobre el talud y que determinan su comportamiento y condiciones de estabilidad. Los factores a su vez, son interdependientes entre sí; no se podría ejecutar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes ya sean de campo como los de laboratorio, deberían ser obtenidos en función del método de análisis de estabilidad que vaya a emplearse. (Suarez, 1998)



**Figura 5.** Equilibrio o desequilibrio de fuerzas en un talud.

Fuente: (Suarez, J. 2009)

### 2.2.6.2. Concepto del factor de seguridad.

El factor de seguridad es empleado por los ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1922) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla (Suárez, 2009, pág. 129):

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

En las superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

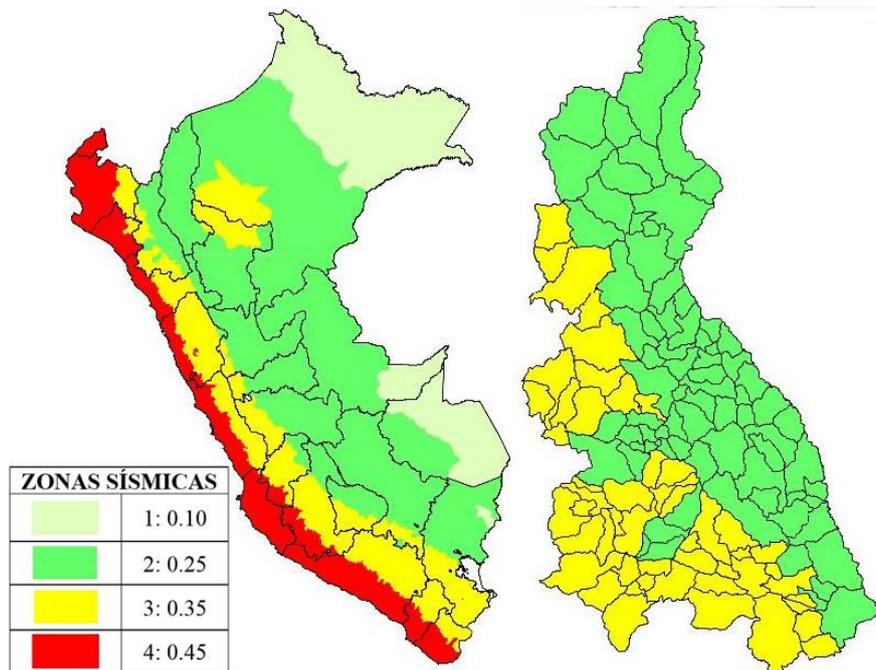
Existen, otros sistemas para plantear el factor de seguridad, tales como la relación de altura crítica y altura real del talud, métodos probabilísticos, así como tablas empíricas locales basadas en el comportamiento típico de los taludes.

### 2.2.7. Sismicidad

Un lugar puede tener alta o baja sismicidad, lo que tiene relación con la frecuencia con que ocurren sismos en ese lugar. (Zúñiga, R. 2011)

#### 2.2.7.1. Zonas Sísmicas del Perú

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)



**Figura 6.** Zonas sísmicas en el Perú y Cajamarca.

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016)

### 2.2.7.2. Análisis de Sismicidad

Para el análisis de sismicidad se requiere las componentes de sismicidad ( $K_h$  y  $K_v$ ) que se obtienen de la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Variables de sismicidad para obtener las componentes sísmicas horizontales y verticales.

a: Zonas sísmicas del Perú	b: Coeficiente de amplificación topográfica	c: Categoría del perfil estratigráfico
<b>1</b> = 0.10 <b>2</b> = 0.25 <b>3</b> = 0.35 <b>4</b> = 0.45	<b>1:</b> Laderas y taludes con pendientes menores a 15°. <b>1.2:</b> Laderas y taludes aislados con pendientes mayores a 15°. <b>1.4:</b> Taludes y laderas con significante menor grosor de cresta que de base, con pendientes mayores a 30°	<b>0: S1</b> (Depósitos con niveles de más de 10m de arcillas/limos blandos con un índice de plasticidad alto ( $IP > 40$ ) y alto contenido de agua. <b>S2</b> (Depósitos de suelos licuefactables, arcillas sensibles)  <b>1: A</b> (Roca u otra formación geológica similar a roca, incluyendo como máximo 5 m de material más débil en superficie)  <b>1.25: B</b> (Depósitos de arena muy densa, gravas, o arcilla muy dura, de decenas de metros de espesor caracterizado por un incremento de las propiedades mecánicas en profundidad). <b>C</b> (Depósitos de arena densa o media, grava o arcilla dura con un espesor de unas decenas hasta centenares de metros). <b>E</b> (Un perfil de suelo formado por una capa aluvial superficial.  <b>1.35: D</b> (Depósitos de suelo suelto de cohesión media a no cohesivo, con o sin capas de débil cohesión, o de ligera a gran cohesión predominantemente).

Fuente: (LoadCap, 2018)

Las componentes sísmicas se definen como:

Amplificación estratigráfica( $k_h$ ):

$$K_h = (a \times b \times c)/2$$

Parámetros de zona( $k_v$ ):

$$K_v = (a \times b \times c)/4$$

### 2.3. Definición de términos básicos

**Zonas críticas.** Delimitación espacial que hace referencia del estado actual respecto a variables físicas y temporales. (Dávila, 2011).

**Talud.** Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro. (Dávila, 2011)

**Deslizamiento.** Deslizamiento de masas rocosas o de suelo por la pérdida de estabilidad, que puede ser por saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes u otras causas. (Dávila, 2011)

**Superficie de falla.** El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud. (Suarez, 2009)

**Factor de seguridad.** El factor de seguridad es la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla (Fellenius, 1922)

**Ángulo de fricción.** El ángulo de rozamiento interno o ángulo de fricción es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular.

Es especialmente importante en mecánica de suelos para determinar tanto la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento de un terreno arenoso. (Juarez, 2005).

**Cohesión.** Adherencia de los fragmentos, partículas o granos de las rocas, que ejercen unos a otros ayudados por la matriz o cementante. El grado de diagénesis o litificación se manifiesta en la cohesión de los fragmentos, a mayor diagénesis mayor cohesión. (Dávila, 2011)

**Suelo.** Cobertura superficial de la corteza terrestre producto de la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. La formación del suelo implica la meteorización química de los minerales primarios dando lugar a nuevos minerales. (Dávila, 2011)

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación de la investigación

#### 3.1.1. Geográfica

Geográficamente el tramo de la carretera se encuentra emplazada en los andes de la cordillera occidental de Perú; la cual está a 3600 msnm de altura.

El tramo de carretera comprende el cuadrángulo de Celendín; con coordenadas UTM: DATUM WGS84, ZONA – 17S, abarca una longitud de 7 km aproximadamente.

**Tabla 5.** *Coordenadas límite de la zona de estudio.*

Puntos	Longitud	Latitud	Cota
Punto inicial(km 12+700)	9227025	801394	3546
Punto final (km 06+000)	9231077	801607	3597



**Figura 7.** Imagen satelital con la ubicación de la zona de estudio.

**Fuente:** (Google Earth, 2016)

### **3.1.2. Política**

Políticamente la carretera de la zona de investigación, se ubica en el departamento y Región Cajamarca, provincia de Celendín y distrito de Sorochuco.

### **3.1.3. Accesibilidad**

El acceso al tramo de la carretera Quengomayo-Tandayoc; se realiza por la carretera Cajamarca – Celendín con un tiempo estimado de 3.00 horas desde la Ciudad de Cajamarca en automóvil.

### **3.1.4. Clima y vegetación**

Se ubica a 3600 msnm, de clima frío a templado - húmedo, con precipitaciones de 800 a 1050 mm y temperaturas promedio que varían entre 9° a 12°C con clima templado con variantes en las estaciones del año, con lluvias en los meses de octubre a marzo y sequía de abril a septiembre (Weberbauer, SENAMHI). Eventualmente se presentan heladas y granizadas.

La vegetación natural más representativa lo constituyen los relictos de aliso, shita, quinal y en forma aislada plantas de sauco; la vegetación herbácea está determinada por gramíneas (*Stipa ichu*, *Festuca* sp., *Trifolium* sp.).

El cultivo representativo de esta zona es la papa, pero además se siembran cereales menores como el trigo, cebada, arveja, algunos tubérculos andinos (oca y olluco).

## **3.2. Procedimientos**

### **A. Etapa preliminar de gabinete**

Se realizó la recopilación de información bibliográfica, cartográfica y documental existente acerca del tema y la zona de investigación.

Se hizo la revisión bibliográfica de tesis, libros, revistas geológicas y base bibliográfica buscada en internet.

Con lo relacionado a la cartografía y parte de la geología se recurrió a la información contenida en la base de datos del INGEMMET.

## **B. Etapa de campo**

Se realizó el cartografiado geológico, caracterización geomecánica y geotécnica de los taludes en las zonas donde se evidencie más inestabilidad en la zona de estudio comprendida entre Quengomayo- Tandayoc; logrando un análisis comparativo y descriptivo, determinando las zonas críticas mediante puntos de control a través de todo el tramo de la carretera.

## **C. Etapa de gabinete**

En esta etapa de la investigación se procesa, interpreta y analizando las datas mediante: Geological Strength Index (GSI - 2013) la aplicación del Rock Quality Designation (RQD) y Condiciones de las discontinuidades de (Bienawski 1989); para suelos usamos la clasificación SUCS; realizando el análisis en el laboratorio de mecánica de suelos, así mismo se ha procesado los datos tomados de campo; para luego copilar los resultados en cuadros, figuras y planos y presentar el informe final.

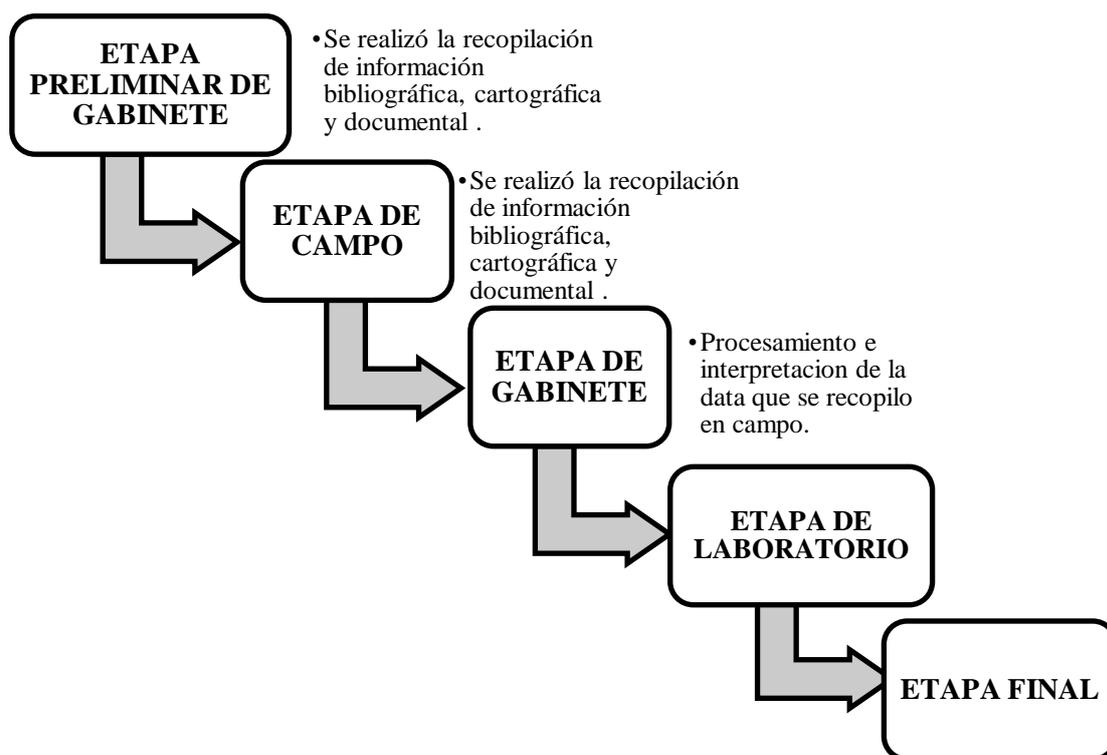
## **D. Etapa de laboratorio**

Las muestras que fueron tomadas en campo serán analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca; para determinar los parámetros físicos como: granulometría, contenido de humedad, pesos específicos, límites de consistencia.

Realizando el ensayo de corte directo para determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción de los materiales.

## **E. Etapa final**

Con los datos obtenidos, se procesó e interpreto mediante el uso del software: Slide V6; así mismo se realizó la elaboración de planos con el uso del software ArcGis 10.2; finalmente se realizó la discusión de los resultados obtenidos y redacción del informe final.



*Figura 8.* Diagrama del diseño de la investigación

### 3.2.1. Metodología

#### Tipo y método de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo y analítico, debido a que nos permite describir y analizar el comportamiento geomecánico de los taludes; el método utilizado para la presente investigación es no experimental, transversal en el tiempo, correlacional y causal.

Para la investigación, se ha tomado como población de estudio al tramo de la carretera Quengomayo – Tandayoc, la cual está comprendida entre los km 13 – 6 de la carretera Cajamarca – Sorochnuco; como muestra de estudio se tomó a los taludes que evidencian inestabilidad, y como unidad de análisis a los parámetros geotécnicos (litología y factor de seguridad).

### **3.2.2. Definición de variables**

Para la investigación se determinó como variable dependiente a la geotecnia y como variables independientes a la precipitación fluvial, a la inestabilidad de taludes, a la morfología, a las estructuras geológicas y la litología.

### **3.2.3. Técnicas.**

En las técnicas empleadas para la recopilación de la información tenemos: la observación dirigida a la zona de estudio para determinar los taludes críticos existentes, luego se realiza las tomas fotográficas en cada estación seleccionada, posteriormente se determinaran las coordenadas en cada estación para luego ser plasmadas en el plano geotécnico para finalmente realizar las mediciones correspondientes en cada una de las estaciones haciendo uso de un formato diseñado para una mejor recolección de los datos en campo.

### **3.2.4. Instrumentos y Equipos.**

La toma de datos se realizará con los siguientes instrumentos y equipos:

- GPS GARMIN MAP 60 CSX Navegador: Para determinar las coordenadas de cada talud analizado.
- Brújula Brunton: Para determinar el rumbo y buzamiento de los estratos; así como también la pendiente del talud.
- Wincha de 30m: Para realizar las mediciones correspondientes en los taludes.
- Protactor: Para plasmar los datos obtenidos en campo en los planos a escala.
- Picota Geológica Estwing: Para sacar las muestras en campo, para su análisis respectivo.
- Lupa 20X: Para determinar los cristales y el tamaño de grano que presentan las muestras obtenidas.
- Lápiz de dureza: Para determinar el grado de dureza que presentan los clastos de las muestras obtenidas.
- Libreta de campo: Para anotar toda la data recolectada en campo.
- Bolsas de muestreo: Para recolectar y transportar las muestras obtenidas en campo.

- Cámara fotográfica digital (SONY Cyber-shot): Para obtener las diferentes fotografías de la zona de estudio.
- Planos (topográficos, geológicos,): Para determinar la ubicación de la zona de estudio; y la identificación la litología que aflora en la zona de estudio.

### 3.3. Geología local

A lo largo del tramo de la carretera Quengomayo - Tandayoc, encontramos afloramientos del Volcánico Porculla y Depósitos del Cuaternario comprendidas desde el Mioceno hasta el cuaternario.

#### 3.3.1. Volcánico Porculla

El volcánico Porculla datada en  $\pm 12$  M.a Mioceno; (Ar-Ar INGEMMET, 2007), es una unidad de rocas volcánicas perteneciente al Grupo Calipuy, que aflora en la cordillera Noroccidental del Perú, Cajamarca (Wilson, 1984). Consiste litológicamente en secuencias piroclásticas de composición félsica-intermedia, acompañado de lavas andesíticas, con intercalaciones de brechas, tufos y material volcánico reabajado de composición dacítica-andesítica. (Reyes, 1980 – Wilson, 1984)



**Foto 1.** Afloramiento de tufos de cristales dacíticos del volcánico Porculla.

### 3.3.2. Depósito Cuaternario

Deposito cuaternario con presencia de cantos rodados polilítico en una matriz más fina de arenas y cemento limo-arcilloso. Materiales acumulados debido al trabajo realizado en forma combinada por el proceso Coluvial y Aluvial; los materiales conformantes de estos depósitos son heterogéneos en cuanto a la forma y al tamaño, mayormente con bloques redondeados de dimensiones diversas, cementados por materiales finos. Existen depósitos volcanoclásticos pos-eruptivos que son producto del retrabajo de los volcanoclásticos en el área de estudio.



*Foto 2.* Afloramiento de depósito cuaternario con presencia de bloques polilíticos.



*Foto 3.* Clastos de diferente tamaño subredondeados del depósito cuaternario englobado en una matriz fina limo-arcilloso.

### 3.4. Geomorfología

Para determinar las unidades geomorfométricas se tomó como referencia los intervalos definidos en la siguiente tabla:

**Tabla 6.** *Unidades Geomorfométricas.*

Unidades Geomorfométricas	
Pendientes	Descripción
0° - 8°	Planicies
8° - 25°	Lomadas
25° - 50°	Laderas
50° - 90°	Escarpes

*Fuente: Rodríguez, 2014*

#### 3.4.1. Planicies

Área de Terreno de superficie homogénea, ligeramente ondulada, producida por la depositación de erosión, ya sea por actividades agrícolas y ganaderas. Dichas áreas están Comprendidas dentro del rango de 0° a 8°, constituida por depósitos aluviales, depositados durante el Holoceno.



**Foto 4.** Geomorfología del área de estudio.

### 3.4.2. Laderas

Terreno relativamente inclinado y heterogéneo, con inclinaciones comprendidas entre 25° a 50°.

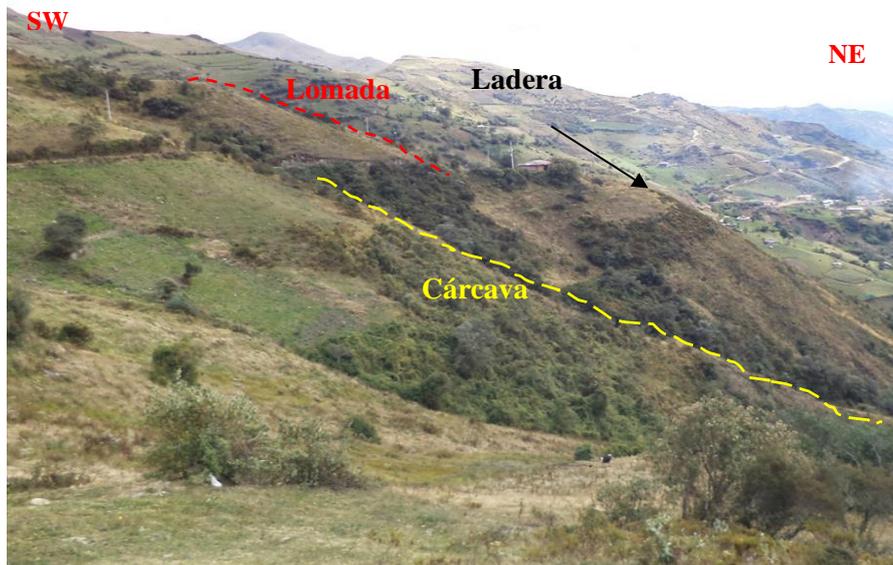


Foto 5. Laderas en la carretera Quengomayo – Tandayoc

### 3.5. Hidrogeología

La red hidrográfica en la zona de estudio, está conformada principalmente por las quebradas Carpa y la quebrada Quengomayo las cuales son afluentes del río Sendamal, poseen un drenaje dendrítico y atraviesan de Este a Oeste a la carretera Quengomayo- Tandayoc.



Figura 9. Imagen satelital de la red hidrográfica de la zona de estudio.

### 3.6. Estudio Geotécnico

Para realizar el estudio geotécnico se emplearon técnicas tanto de campo como el procesamiento de datos obtenidos en gabinete, el estudio especificará el comportamiento geodinámico y problemas geotécnicos encontrados en la zona evaluada.

Utilizamos la técnica de descripción en cortes de carretera para suelos y depósitos volcánicos. Los datos se recolectaron en la tabla ya elaborada para estudios geotécnicos teniendo en consideración los criterios de suelos, caracterizando la composición según el criterio de ángulo de reposo sugerido por Jaime Suarez en Análisis Geotécnico Volumen 1 y Control de Erosión en Zonas Tropicales (2001).

Para la evaluación geotécnica de la carretera Quengomayo – Tandayoc se definieron tramos críticos en donde definimos y analizamos tanto el comportamiento geológico como el geodinámico, los cuales están directamente relacionados con las variables geotécnicas.

**Tabla 7.** Estaciones documentadas en la carretera Quengomayo – Tandayoc

ESTACIÓN Nº	COORDENADAS UTM-WGS84			TIPO DE MATERIAL
	ESTE	NORTE	COTA	
01	801766	9226733	3550	Depósito volcanoclástico
02	801596	9227096	3598	Depósito Cuatemario
03	801489	9227617	3603	Tobas volcánicas
04	801599	9227777	3607	Depósito volcanoclástico
05	801582	9228911	3619	Andesita alterada
06	801359	9229270	3559	Depósito piroclástico
07	801277	9229580	3515	Depósito piroclástico
08	801375	9230315	3492	Depósito piroclástico

### 3.6.1. Condiciones de análisis

Se realizó el análisis de taludes en cuatro (4) condiciones de análisis, asumiendo algunos datos para determinadas condiciones tal como se describen en la siguiente tabla. Estas condiciones se emplearon para las 8 estaciones geotécnicas.

Para el Análisis Pseudoestático se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Zona sísmica: 2
- Máxima aceleración sísmica (gals): 0.25
- Coeficiente de amplificación topográfica: 1.4
- Perfil estratigráfico del terreno: D=1.35
- Amplificación estratigráfica “Kh”: 0.236
- Parámetro de zona “Kv”: 0.118

**Tabla 8.** Descripción de escenarios para el análisis de taludes.

Nº	Condiciones	Nivel Freático	Kh	Kv	Descripción
1	Naturales	Ausente	0	0	Estado en condiciones drenadas estáticas
2	Pseudoestáticos	Ausente	0.236	0.118	Máximas aceleraciones sísmicas en la zona
3	Saturación Parcial	Profundidad media del material crítico	0	0	Condiciones de lluvia intensas
4	Saturación Parcial + Pseudoestáticos	Profundidad media del material crítico	0.236	0.118	Condiciones de lluvia intensas + Máximas aceleraciones sísmicas en la zona

### 3.6.2. Estaciones Geotécnicas

#### 3.6.2.1. Estación N° 01

**Tabla 9.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 01*

Progresiva (Km)		12 + 100	Descripción del Talud
Geometría del Talud			
Altura	12 m		Depósito volcanoclástico con fragmentos subangulares de roca volcánica, cementados en una matriz fina de cenizas volcánicas, moderadamente meteorizado, sin presencia de agua.
Pendiente del talud	70°		
Pendiente de material deslizado	50°		
Dirección del talud	40°		
Ubicación			
Norte	Este	Cota	
9226733	801766	3550	
Estado de actividad			Deslizamiento Reactivado
Clasificación SUCS			CG-SW



**Foto 6.** *Deposito volcanoclástico del volcánico Porculla.*

**a) Análisis geotécnico en condiciones naturales**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

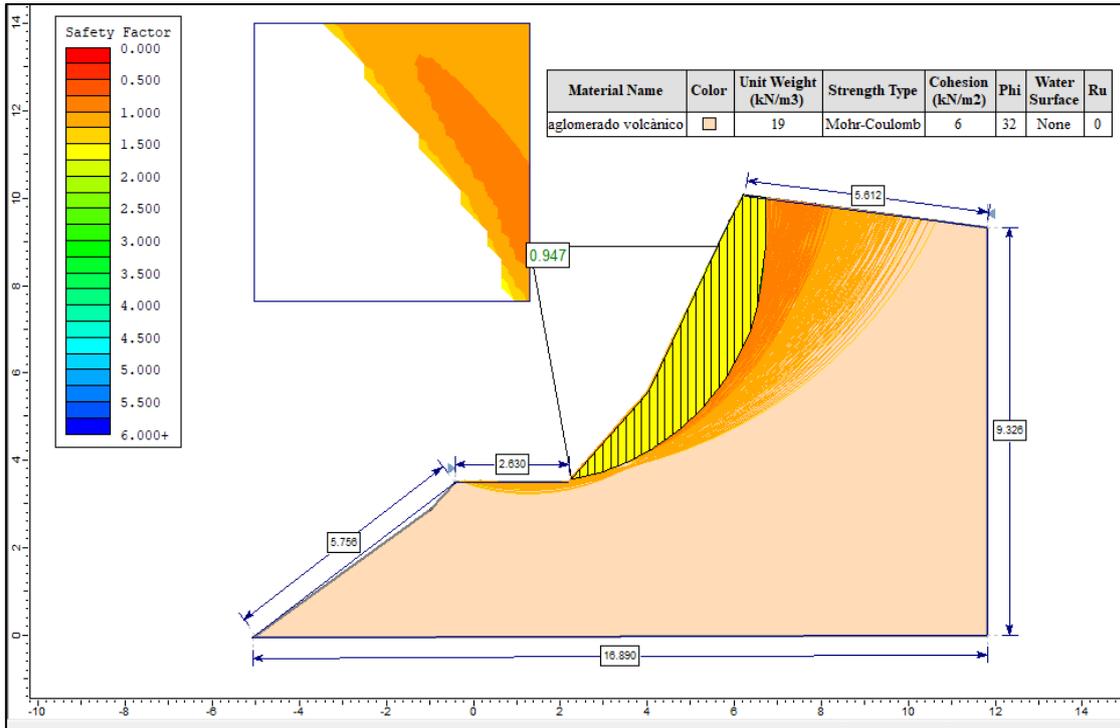


Figura 10. Análisis Slide del talud N° 1 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

Aplicando cargas sísmicas.

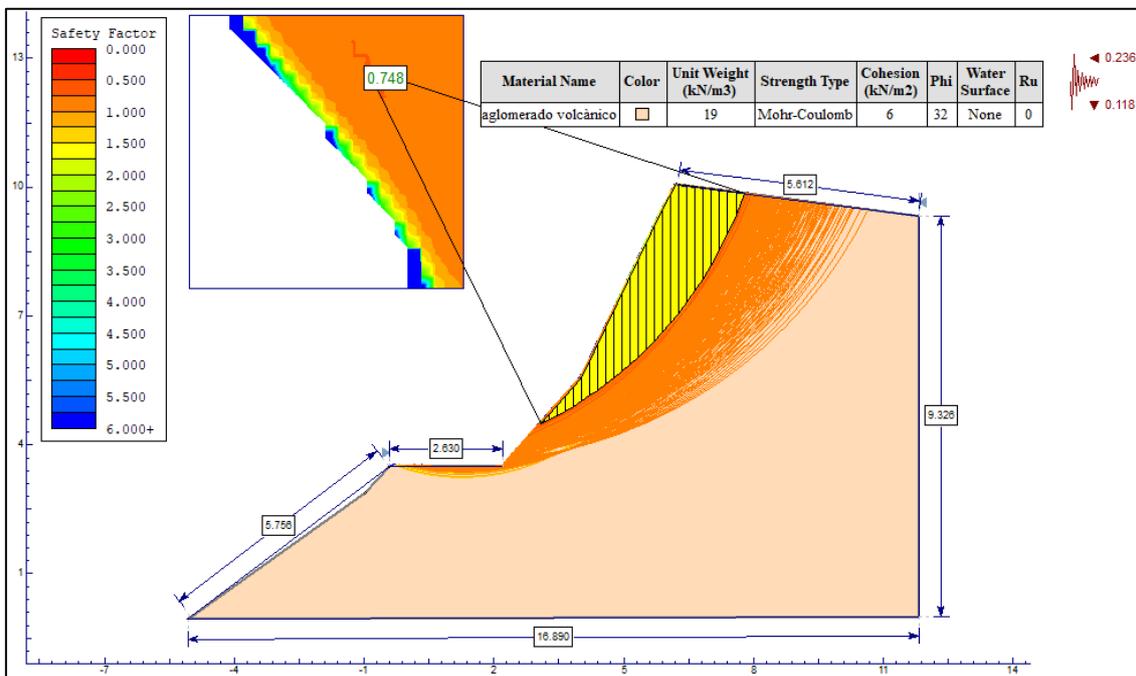


Figura 11. Análisis Slide del talud N° 1 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

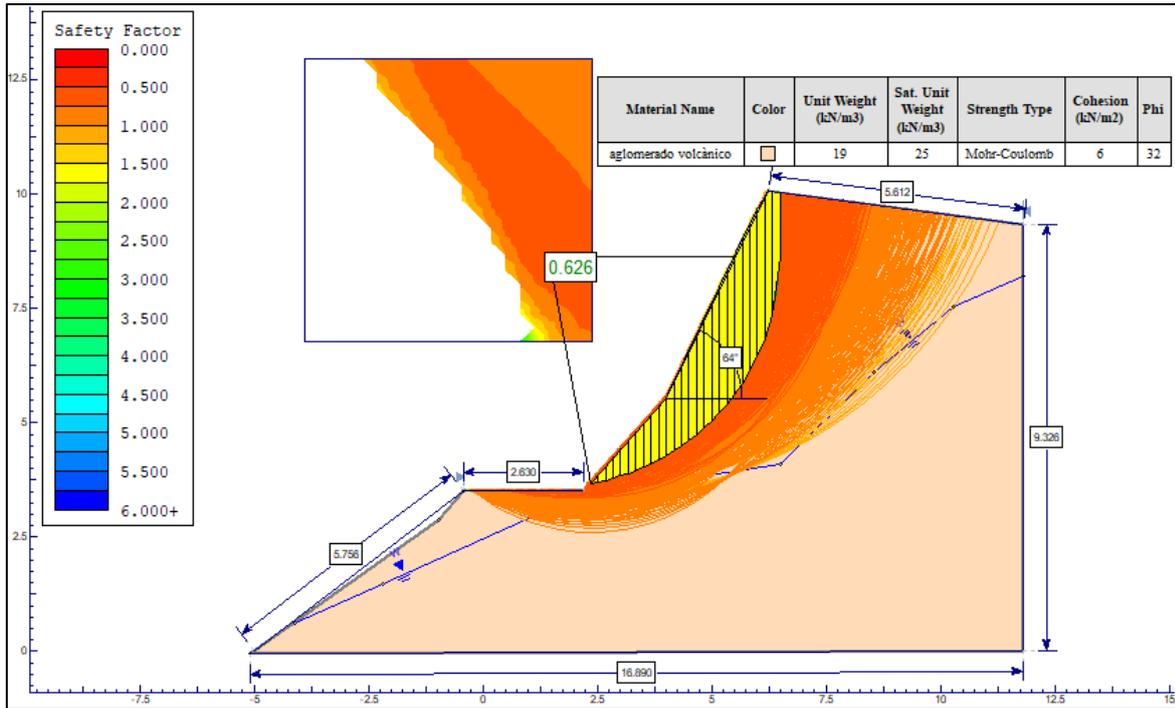


Figura 12. Análisis Slide del talud N° 1 en condiciones de saturación parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

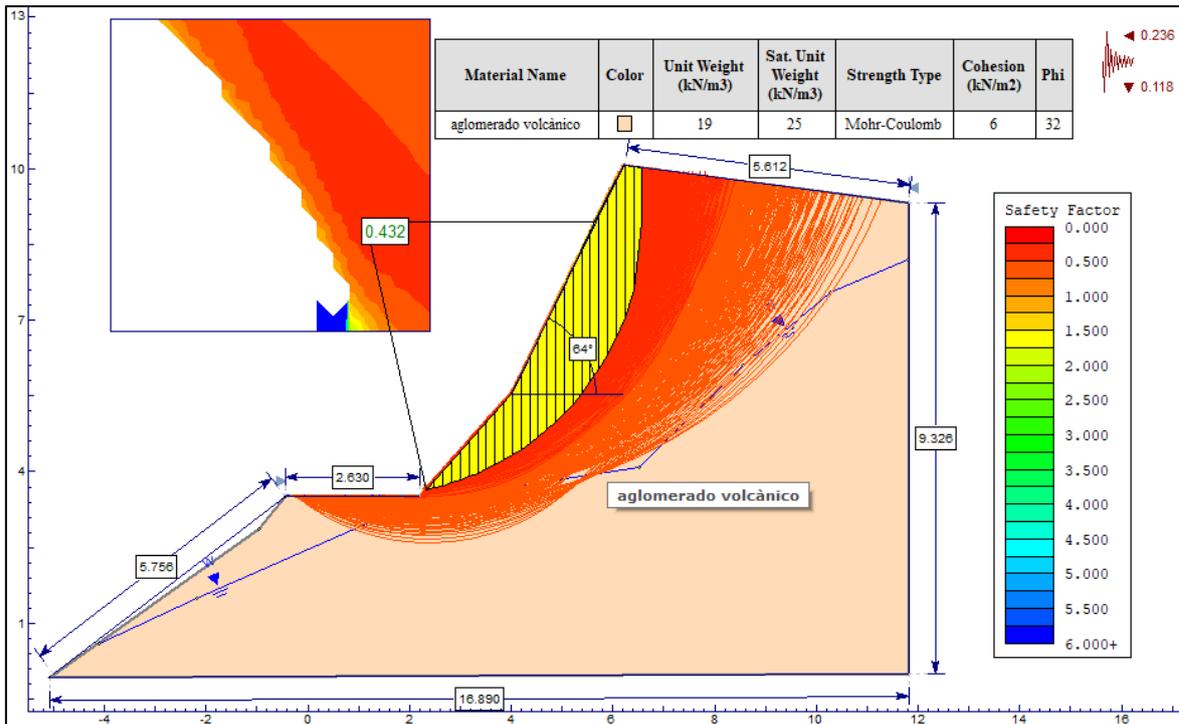
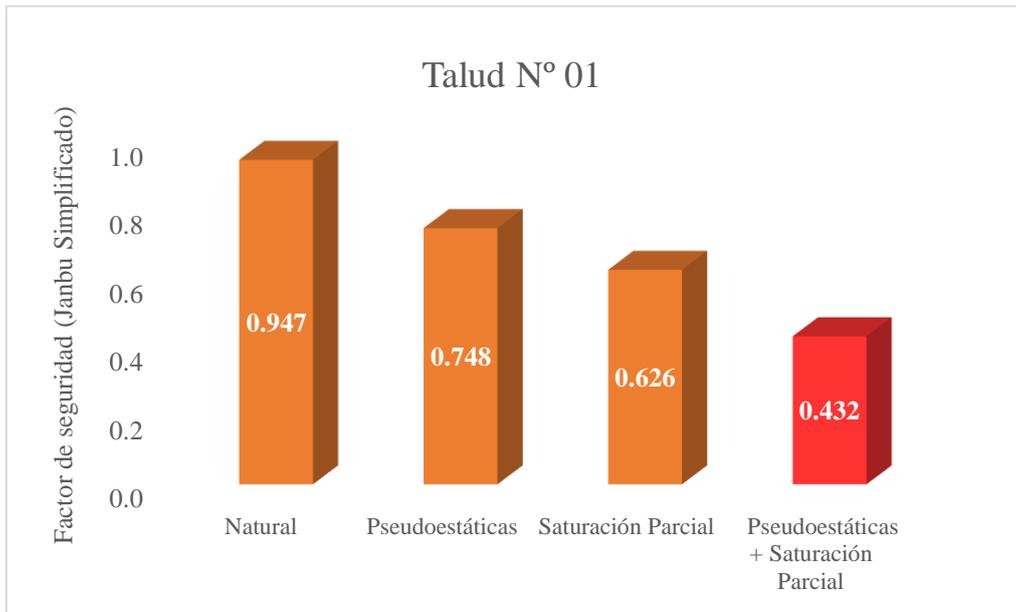


Figura 13. Análisis Slide del talud N° 1 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 14.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.2. Estación N° 02

**Tabla 10.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 02*

<b>Progresiva (Km)</b>		11 + 400	<b>Descripción del Talud</b>  Depósito cuaternario con presencia de cantos rodados polilíticos de diferentes tamaños en una matriz arenosa y cemento limo-arcilloso con un alto grado de meteorización, sin presencia de agua.
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		17 m	
Pendiente del talud		42°	
Longitud talud		27 m	
Dirección del talud		48°	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9227096	801596	3598	
<b>Estado de actividad</b>			
<b>Clasificación SUCS</b>			GP-GC



Foto 7. Depósito Cuaternario con clastos subangulosos.

a) Análisis geotécnico en condiciones naturales.

Modelo geotécnico generado en el software Slide V.6(Método Janbu Simplificado)

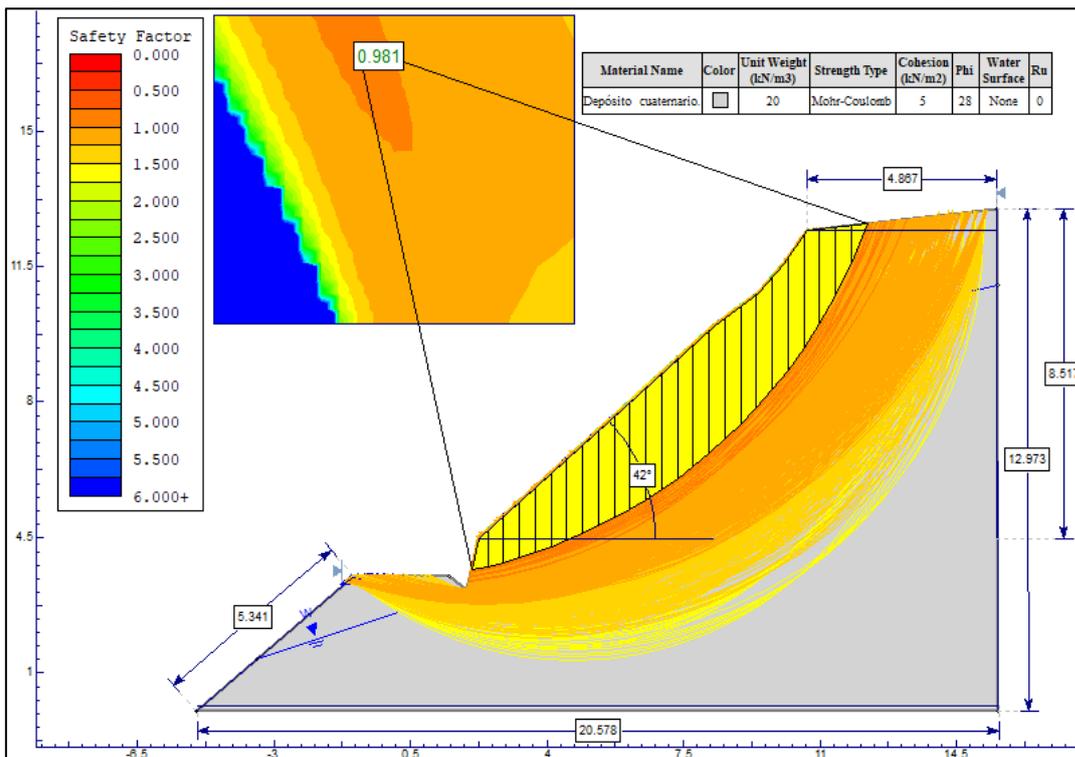


Figura 15. Análisis Slide del talud N° 02 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas.**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)  
Aplicando cargas sísmicas.

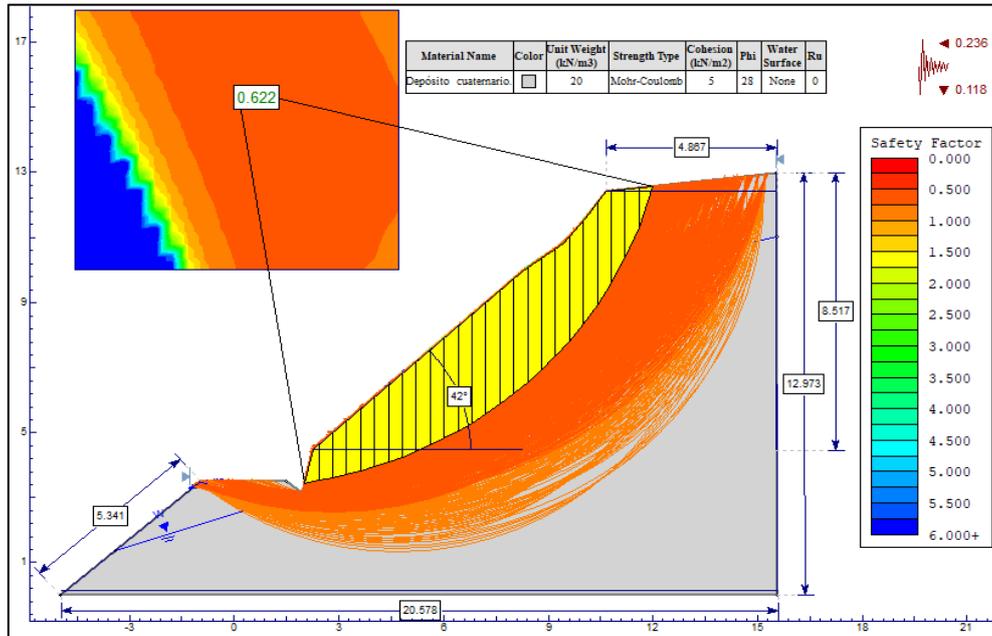


Figura 16. Análisis Slide del talud N° 02 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial.**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

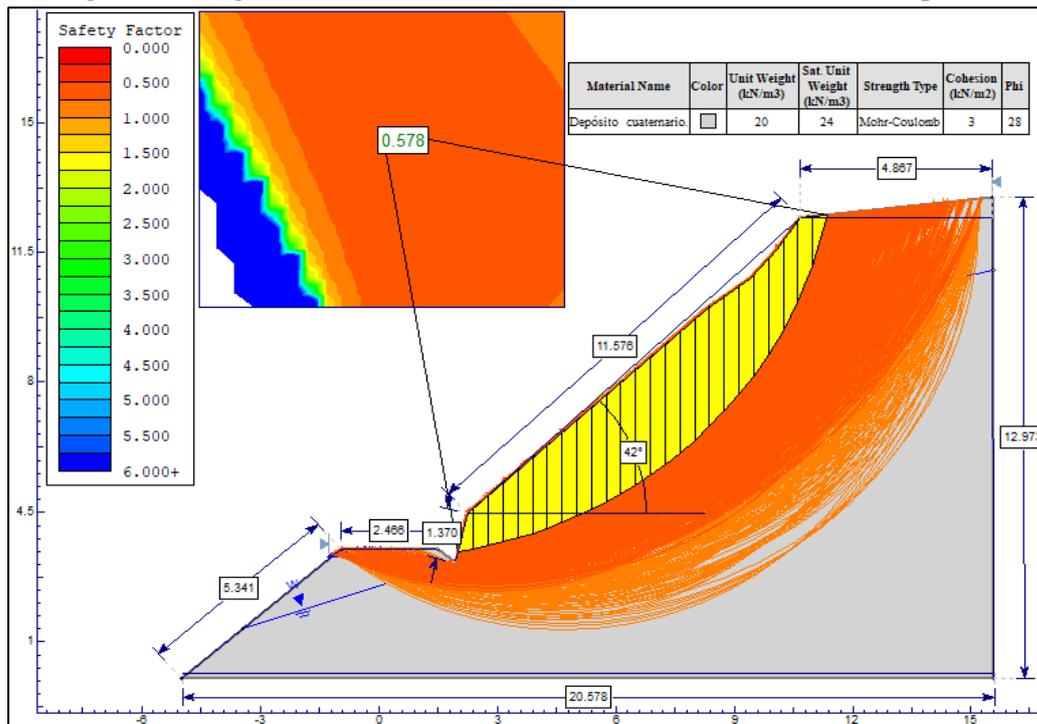
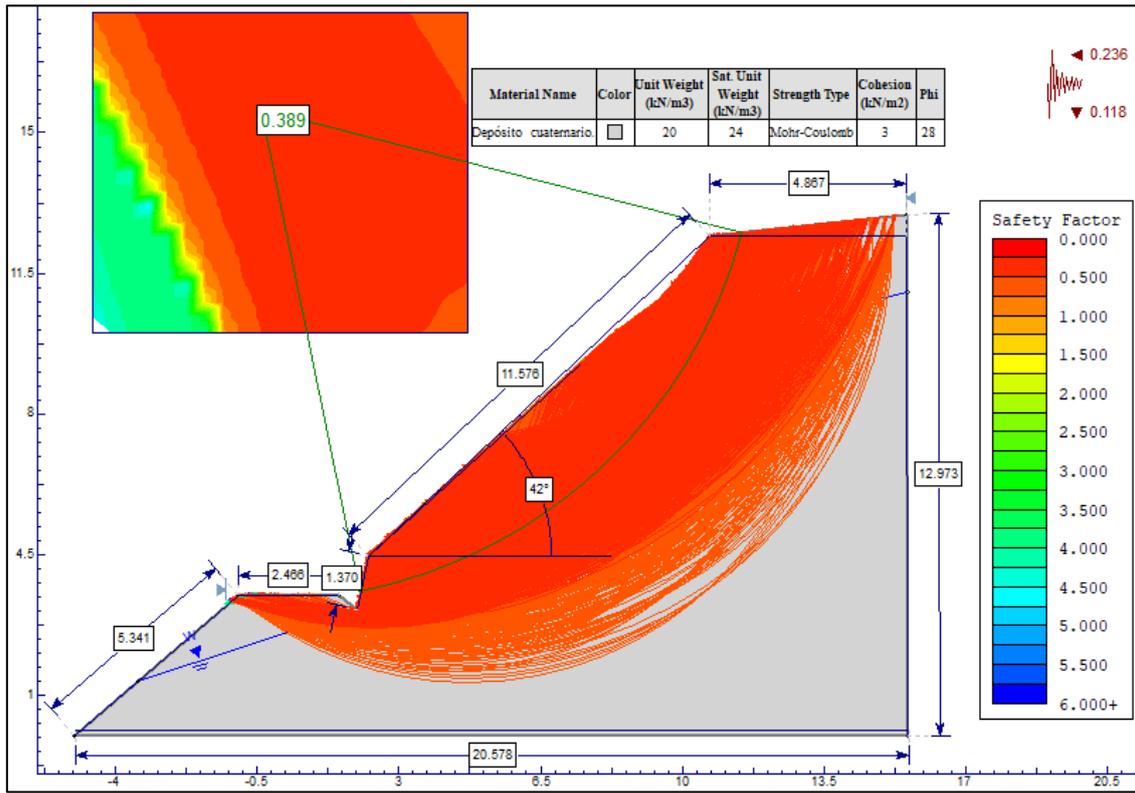


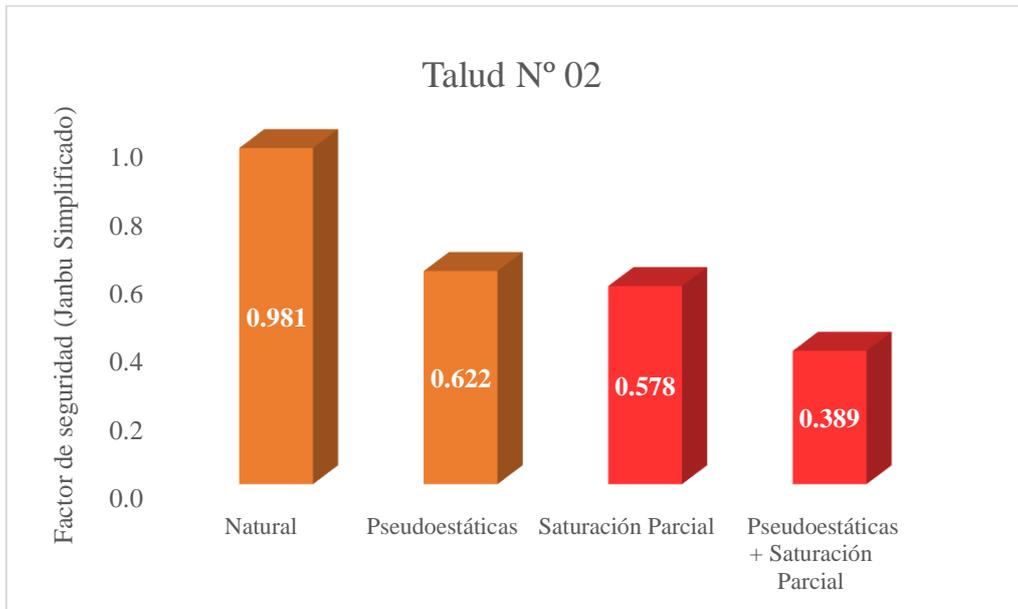
Figura 17. Análisis Slide del talud N° 02 en condiciones saturación Parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



**Figura 18.** Análisis Slide del talud N° 02 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 19.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.3. Estación N° 03

**Tabla 11.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 03*

<b>Progresiva (Km)</b>		10 + 800	<b>Descripción del Talud</b>
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		15 m	Toba volcánica de lapilli y cenizas, moderadamente meteorizada, sin presencia de agua. Se evidenció la presencia de masa deslizada suspendida en el talud.
Pendiente del talud		42°	
Longitud material deslizado		5 m	
Altura de material deslizado		3.90 m	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9227617	801489	3603	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento Reactivado
<b>Clasificación SUCS</b>			CL-ML



**Foto 8.** Deslizamiento en volcánico Porculla.

**a) Análisis geotécnico en condiciones naturales.**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

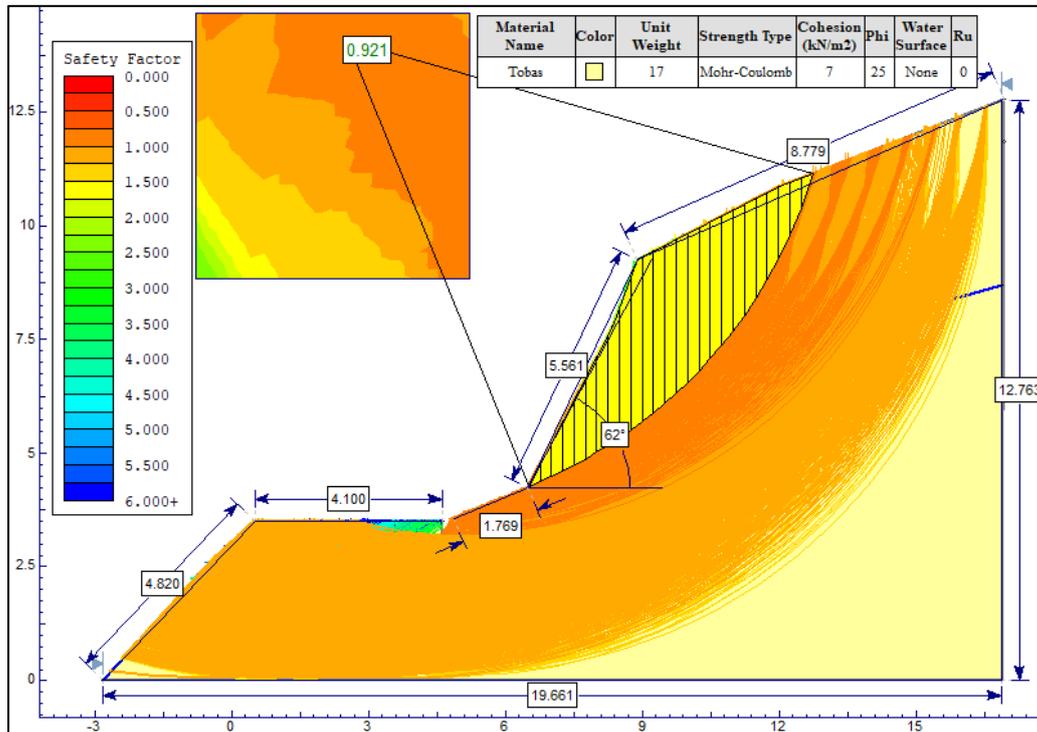


Figura 20. Análisis Slide del talud N° 03 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas.**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

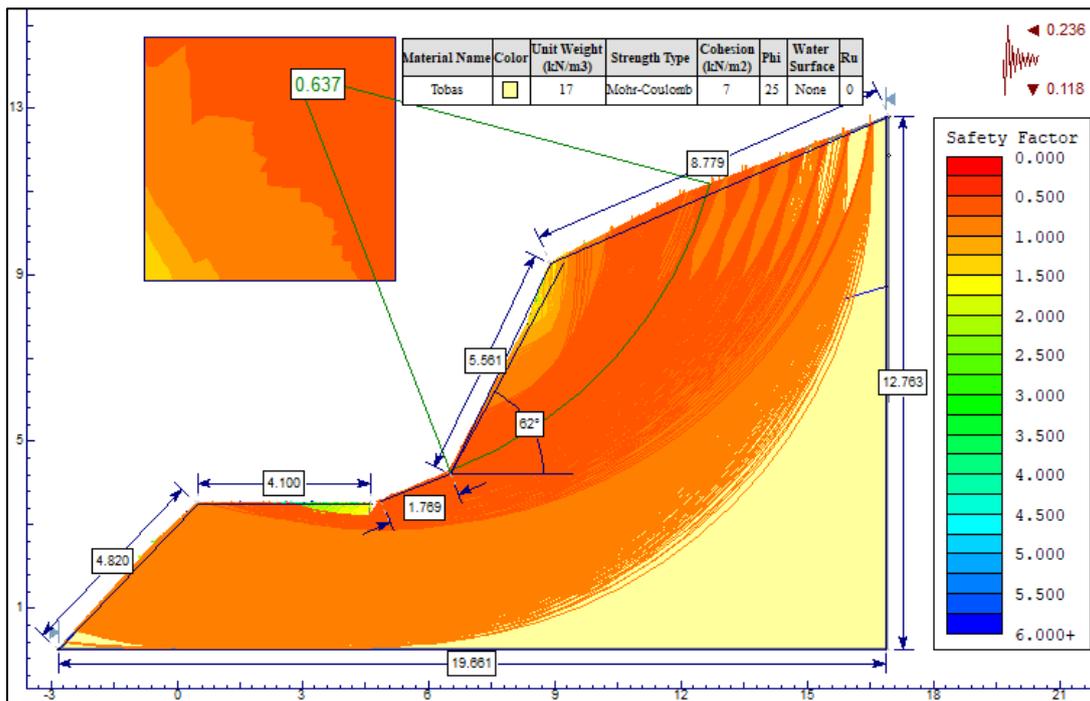


Figura 21. Análisis Slide del talud N° 03 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado).

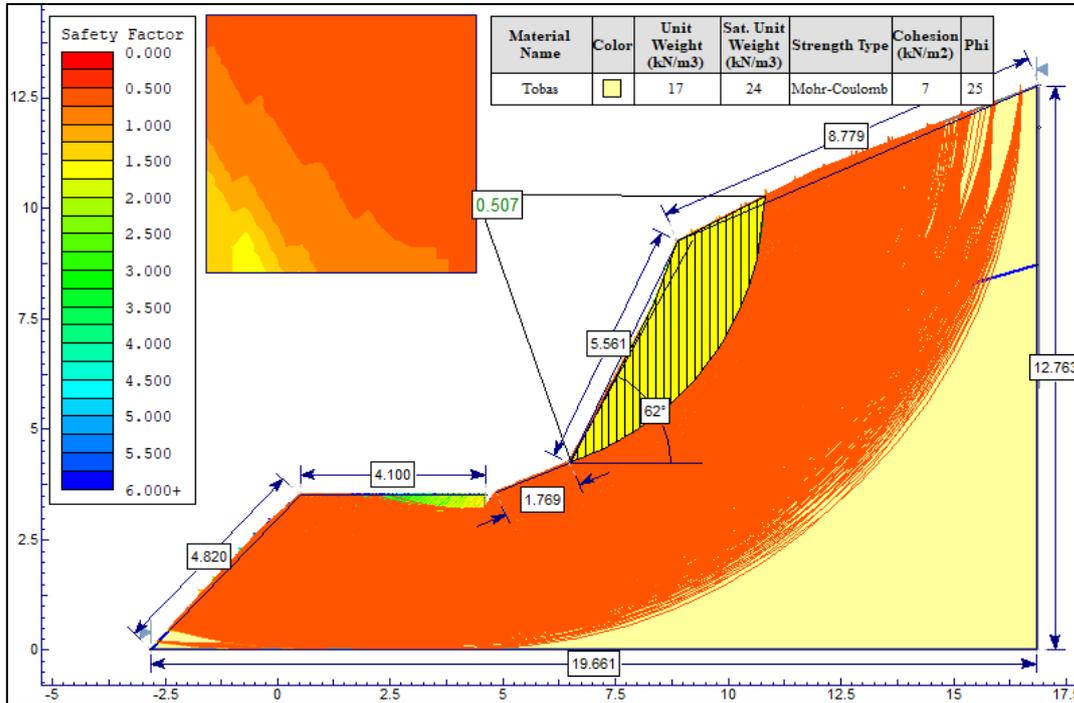


Figura 22. Análisis Slide del talud N° 03 en condiciones saturación parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

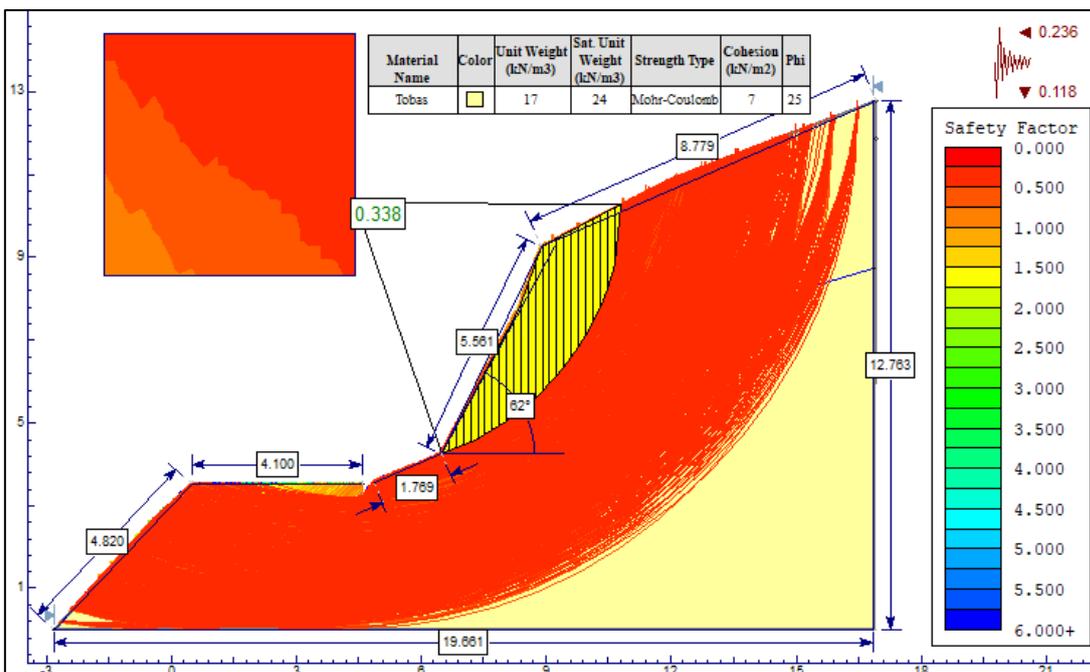
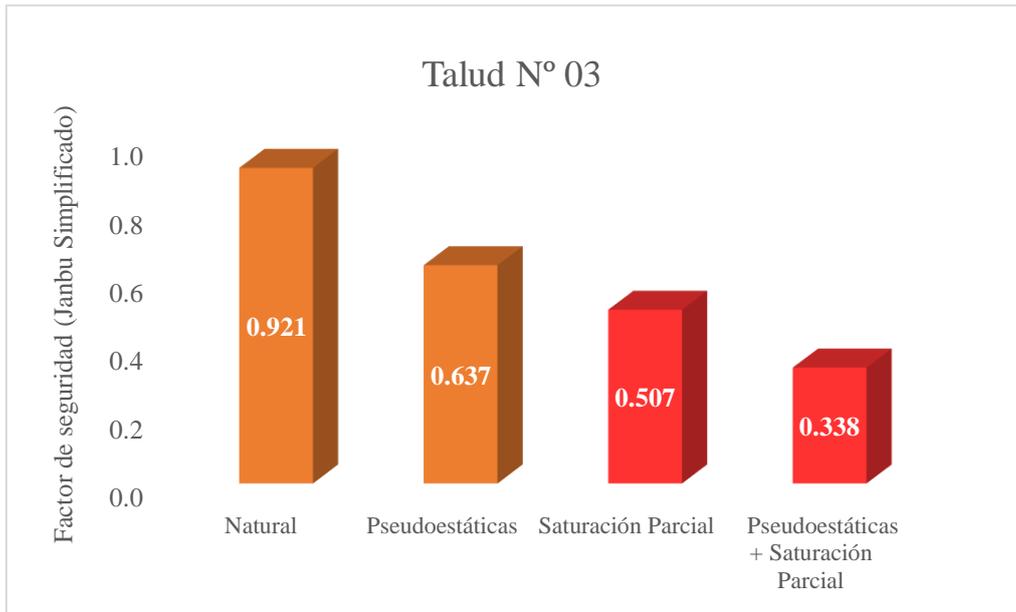


Figura 23. Análisis Slide del talud N° 03 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 24.** Comparación del factor de seguridad.

#### 3.6.2.4. Estación N° 04

**Tabla 12.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 04*

Progresiva (Km)		10 + 700	Descripción del Talud
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		5 m	Depósito volcanoclástico compacto, caracterizado por presentar fragmentos subredondeados englobados en una matriz fina de ceniza y lapilli con un leve grado de meteorización, sin presencia de agua.
Pendiente del talud		70°	
Longitud Talud		12.60 m	
Dirección de talud		60°	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9227777	801599	3607	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento Dormido
<b>Clasificación SUCS</b>			CG-SW



Foto 9. Deposito Volcanoclástico del volcánico Porculla.

a) Análisis geotécnico en condiciones naturales

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

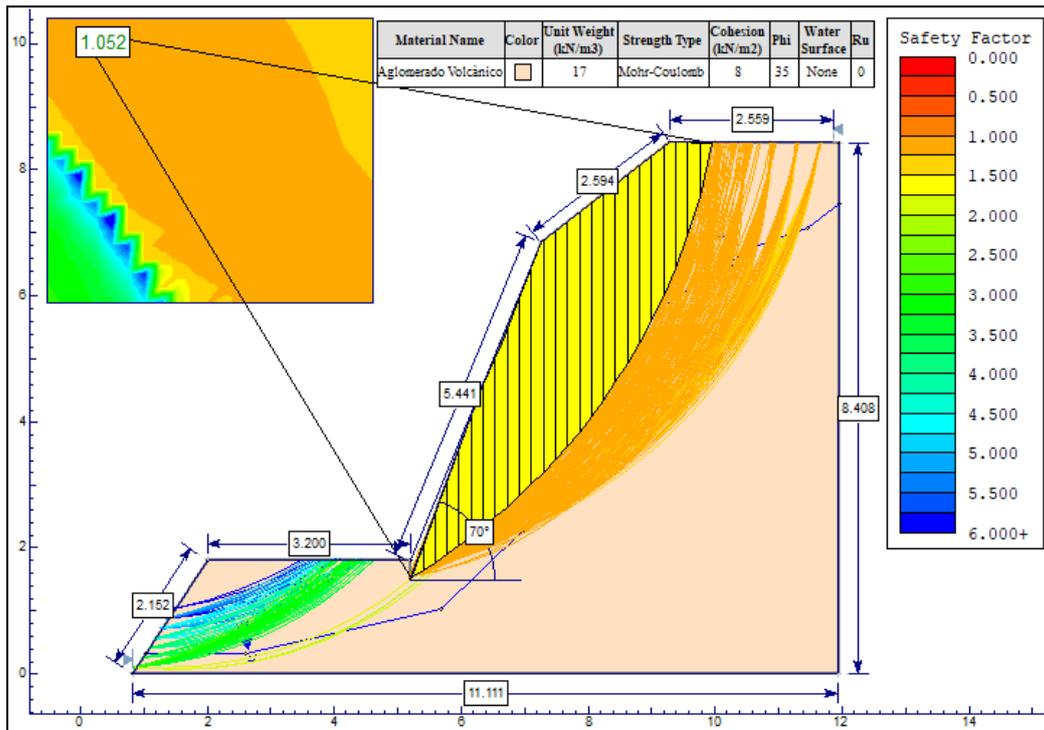
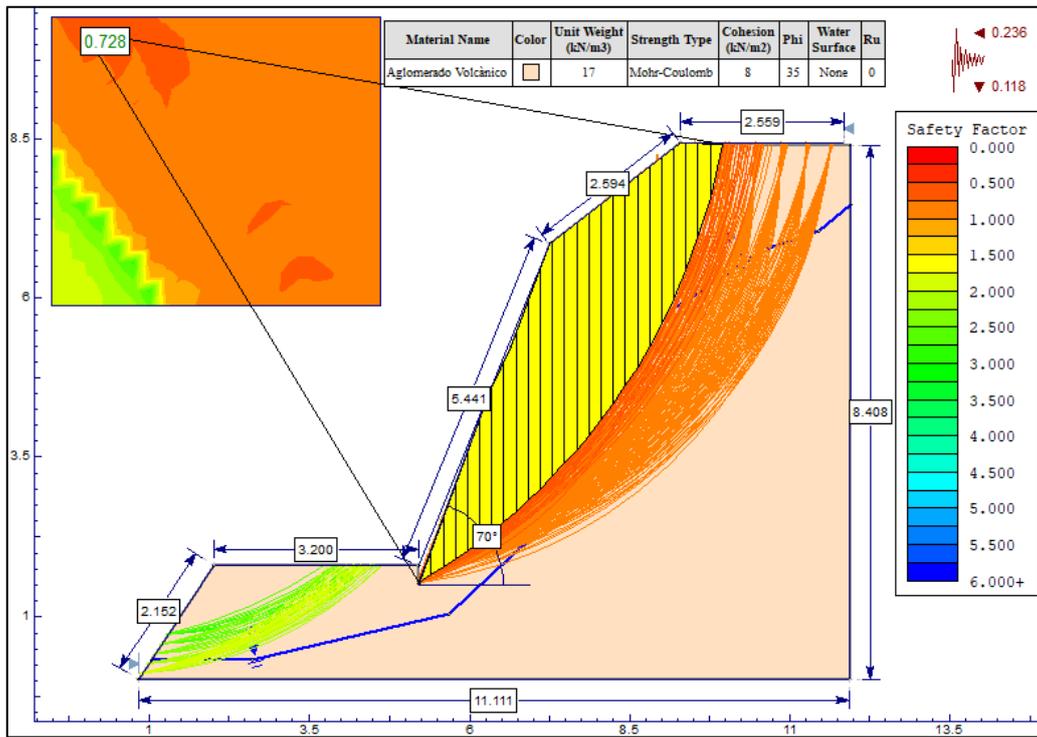


Figura 25. Análisis Slide del talud N°0 4 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

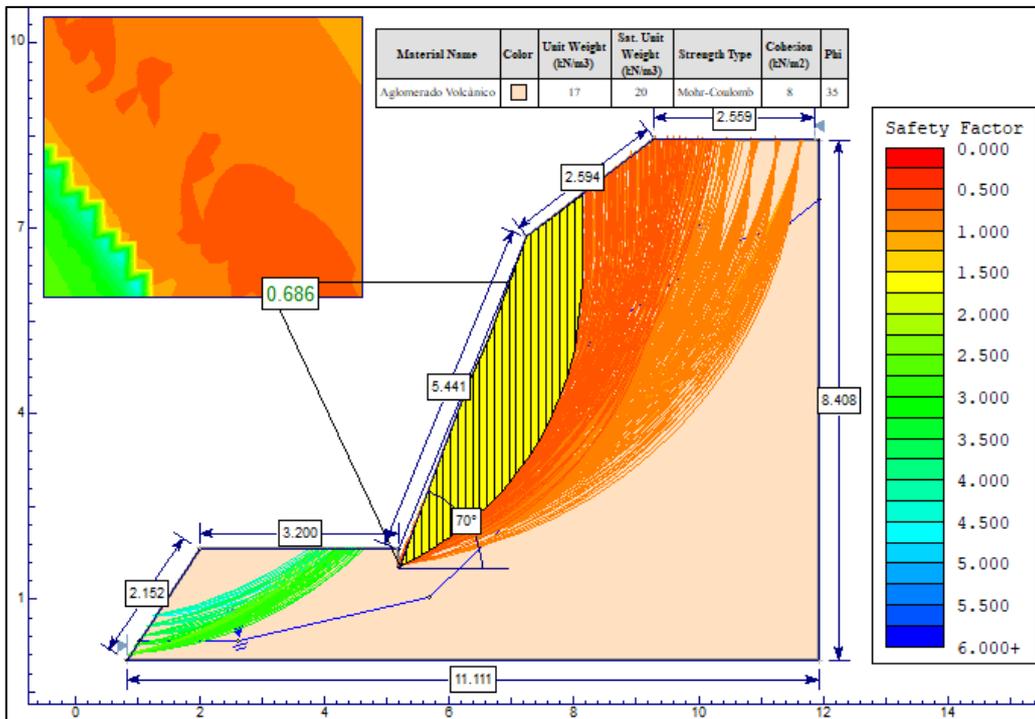
Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



**Figura 26.** Análisis Slide del talud N° 04 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

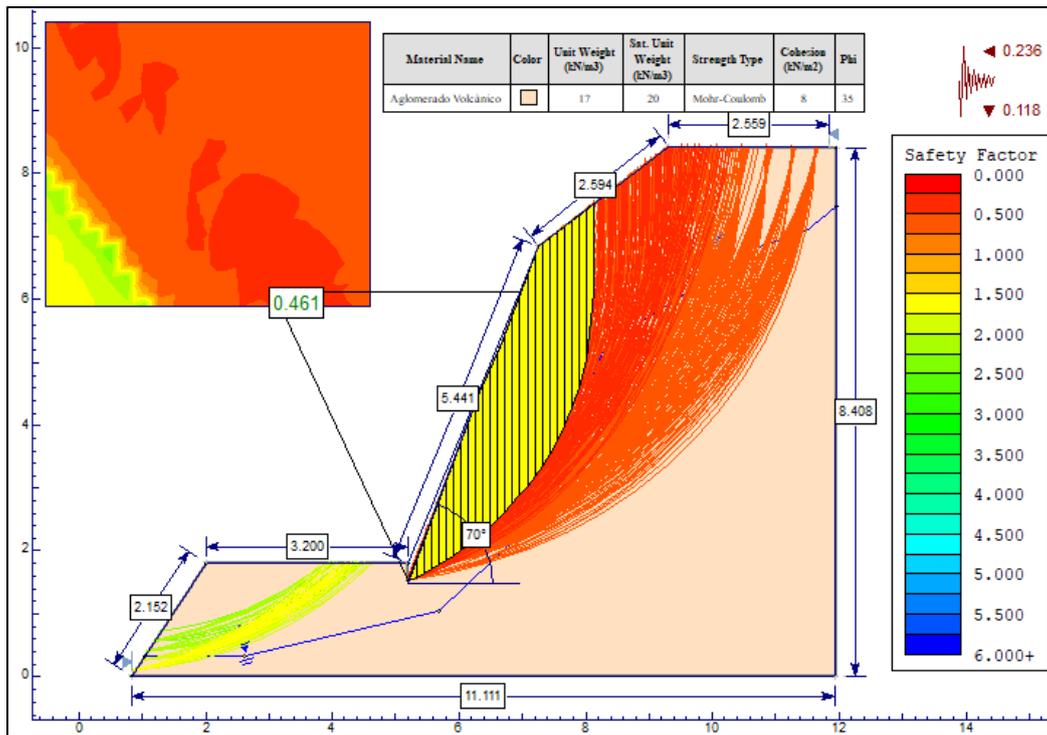
Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



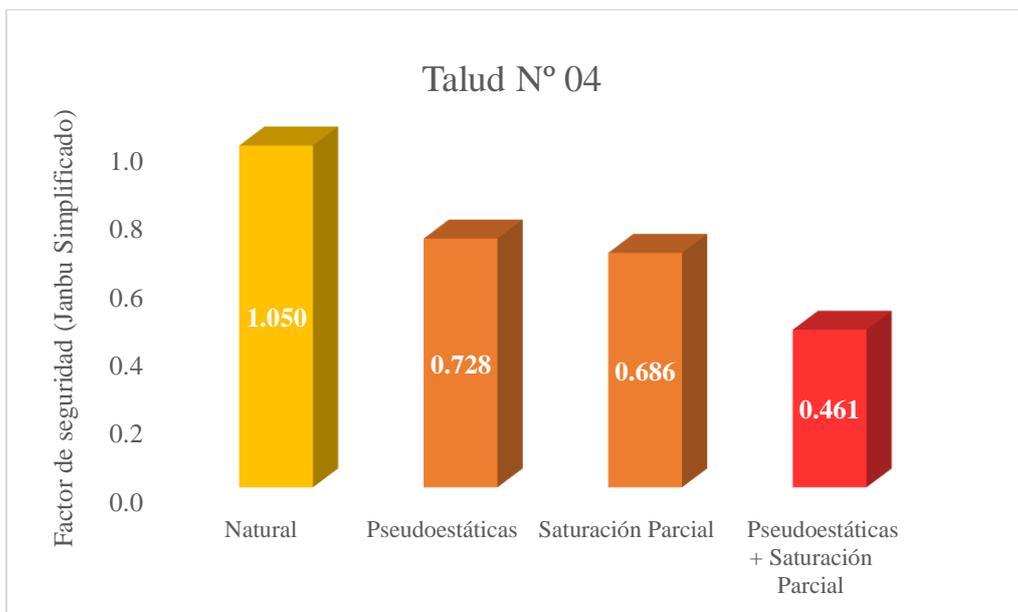
**Figura 27.** Análisis Slide del talud N° 04 en condiciones saturación parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



**Figura 28.** Análisis Slide del talud N° 04 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.

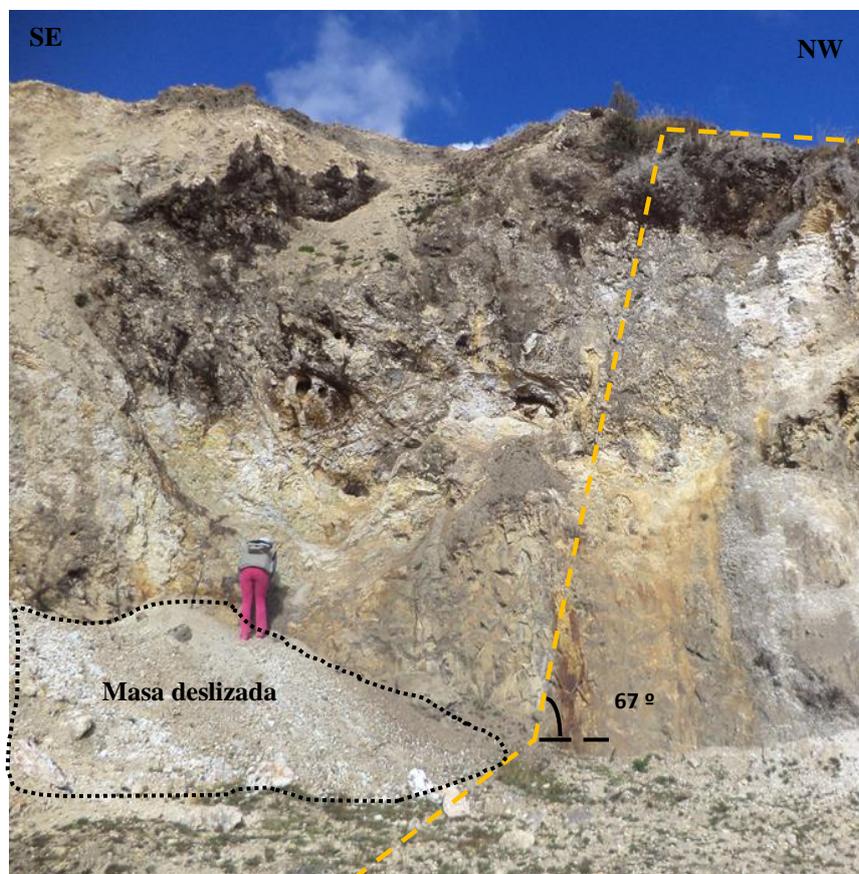


**Figura 29.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.5. Estación N° 05

**Tabla 13.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 05*

<b>Progresiva (Km)</b>		08 + 700	<b>Descripción del Talud</b>  Andesita con alteración argílica avanzada borrando la textura original de la roca, moderadamente meteorizada, sin presencia de agua. Se evidenció la presencia de masa deslizada de la roca andesita alterada.
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		9 m	
Pendiente del talud		67°	
Longitud Talud		23 m	
Dirección de talud		35°	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9228911	801582	3619	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento suspendido
<b>Clasificación SUCS</b>			CL-ML



**Foto 10.** Andesita argilizada del volcánico Porculla.

**a) Análisis geotécnico en condiciones naturales**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

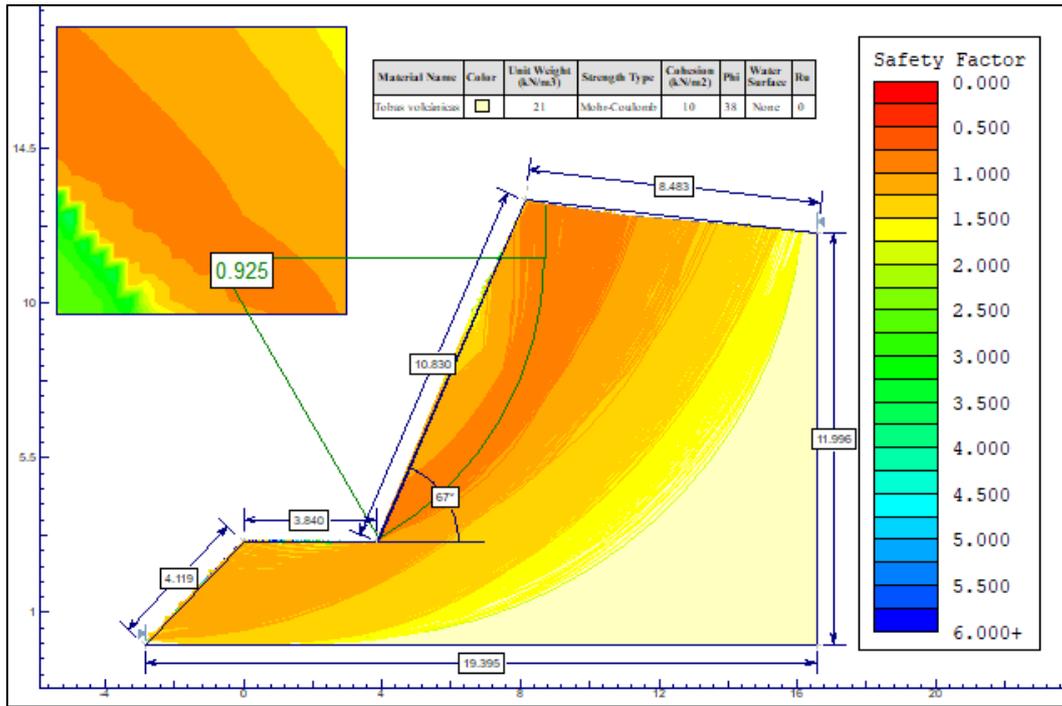


Figura 30. Análisis Slide del talud N° 05 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

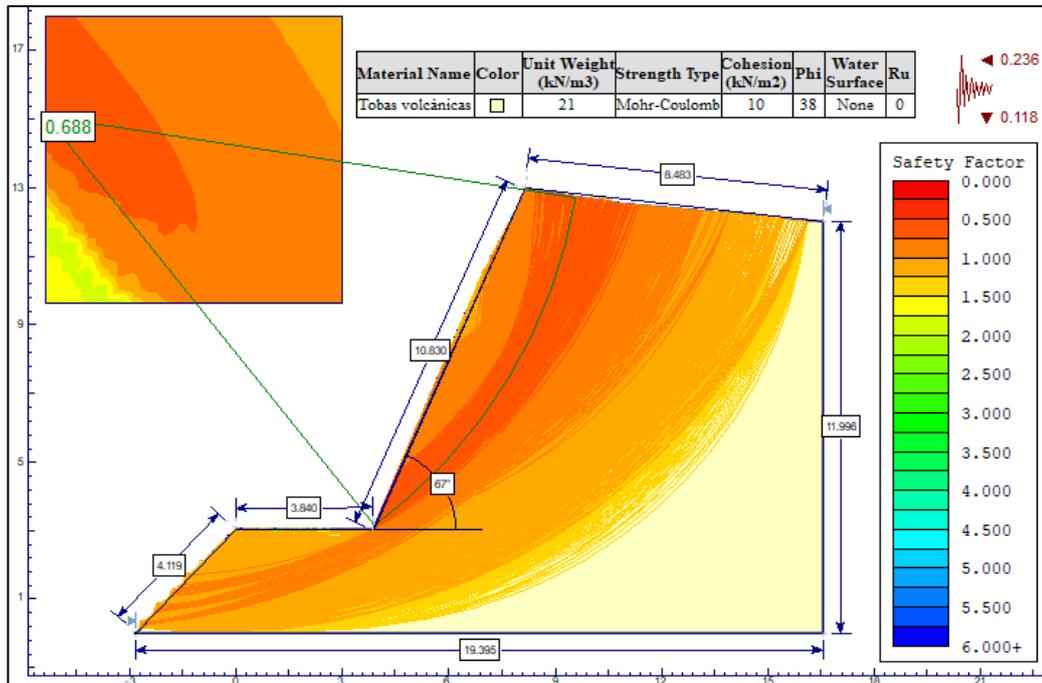


Figura 31. Análisis Slide del talud N° 05 en condiciones Pseudoestáticas.

c) **Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

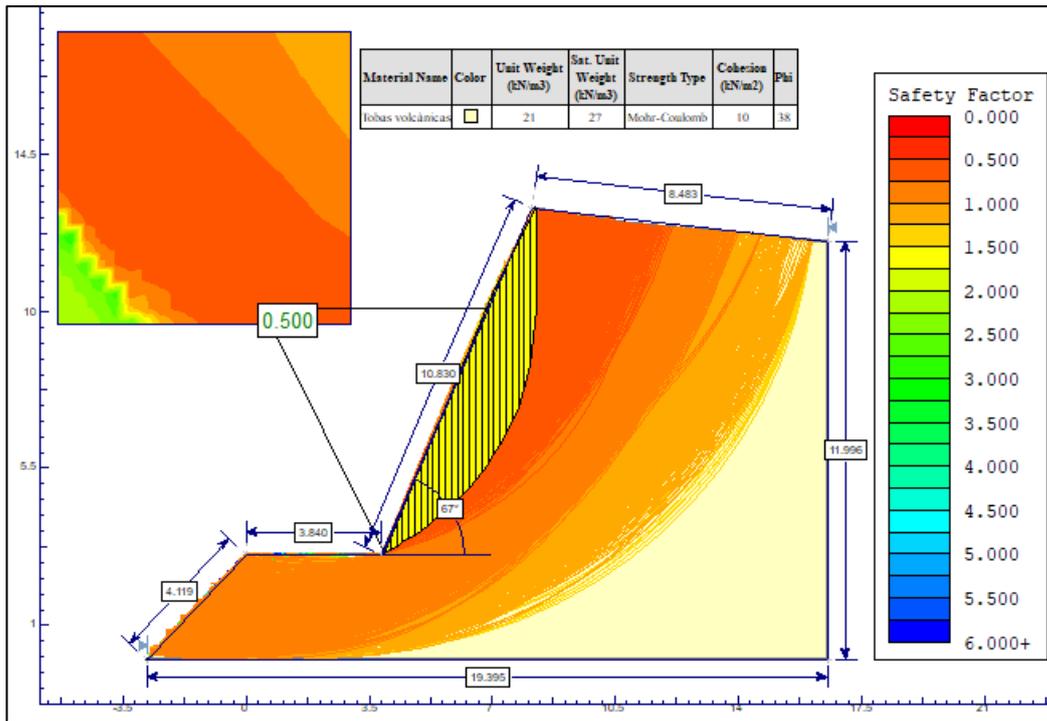


Figura 32. Análisis Slide del talud N° 05 en condiciones saturación parcial.

d) **Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

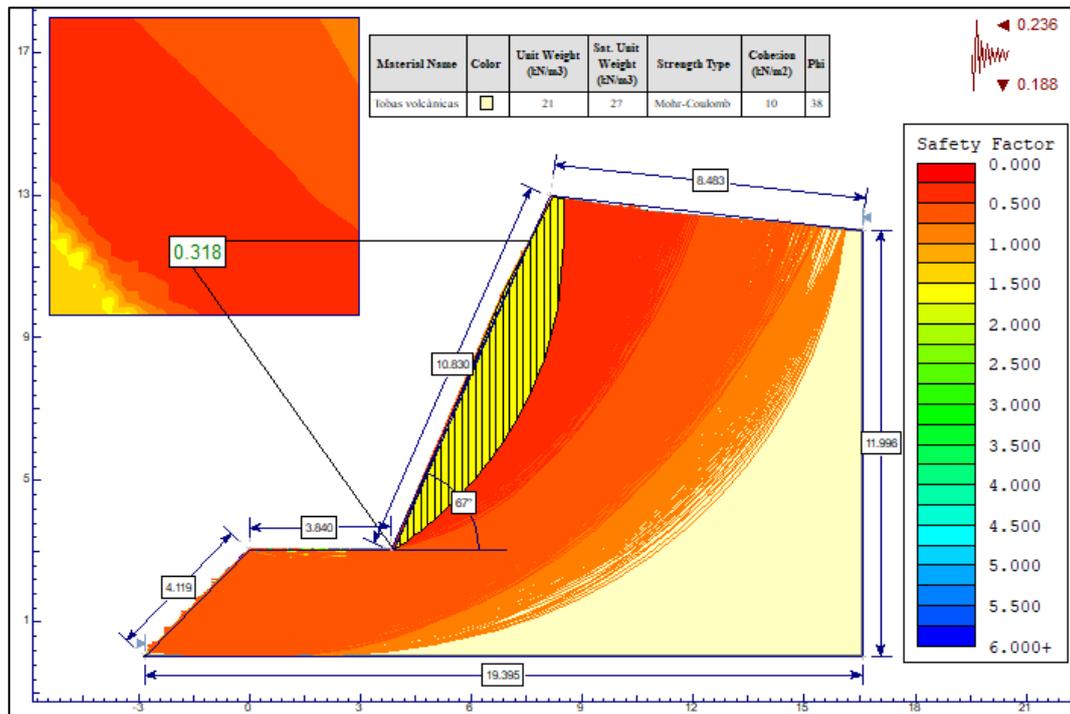
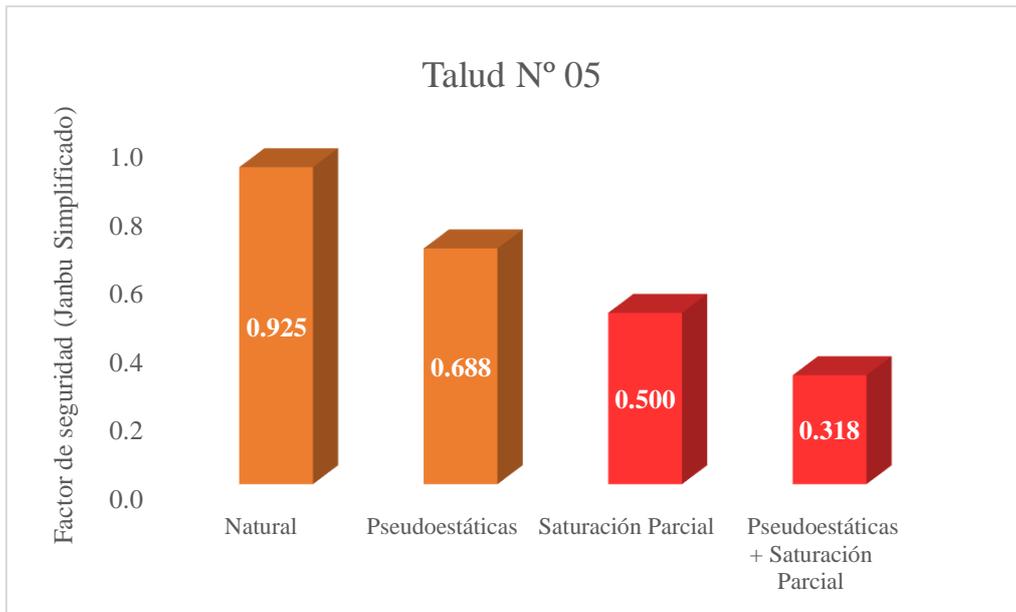


Figura 33. Análisis Slide del talud N° 5 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 34.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.6. Estación N° 06

**Tabla 14.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 06*

Progresiva (Km)		07 + 800	Descripción del Talud
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		25 m	Depósito piroclástico de cenizas y lapillis con presencia de algunos fragmentos de roca andesita, moderadamente meteorizado, sin presencia de agua, se evidenció un deslizamiento suspendido en el talud.
Pendiente del talud		63°	
Longitud Talud		15.30 m	
Pendiente de masa deslizada		56°	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9229270	801359	3559	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento suspendido
<b>Clasificación SUCS</b>			GP-GC

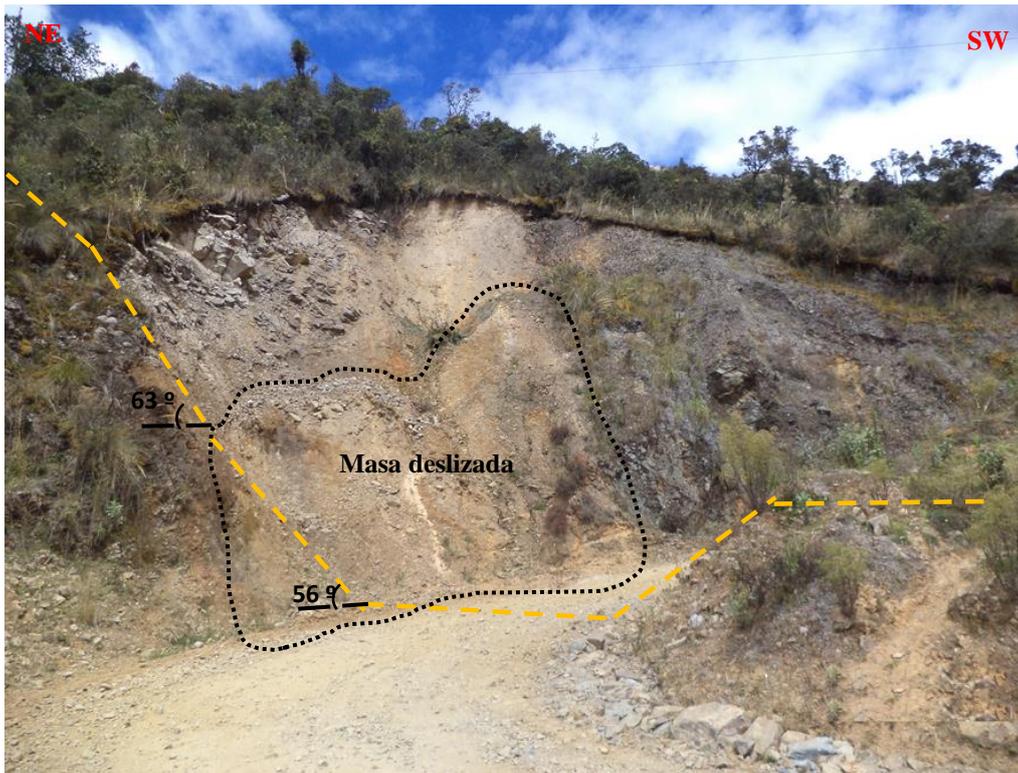


Foto 11. Deslizamiento en depósito de lapilli y ceniza.

**a) Análisis geotécnico en condiciones naturales**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

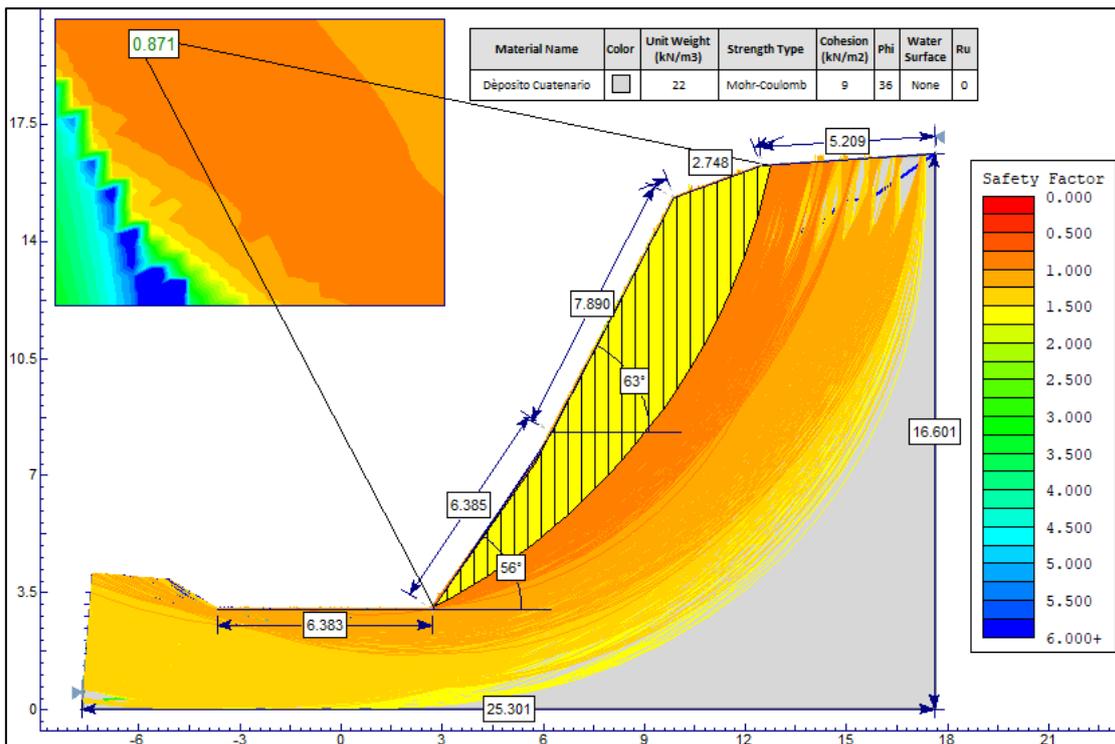


Figura 35. Análisis Slide del talud N° 06 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

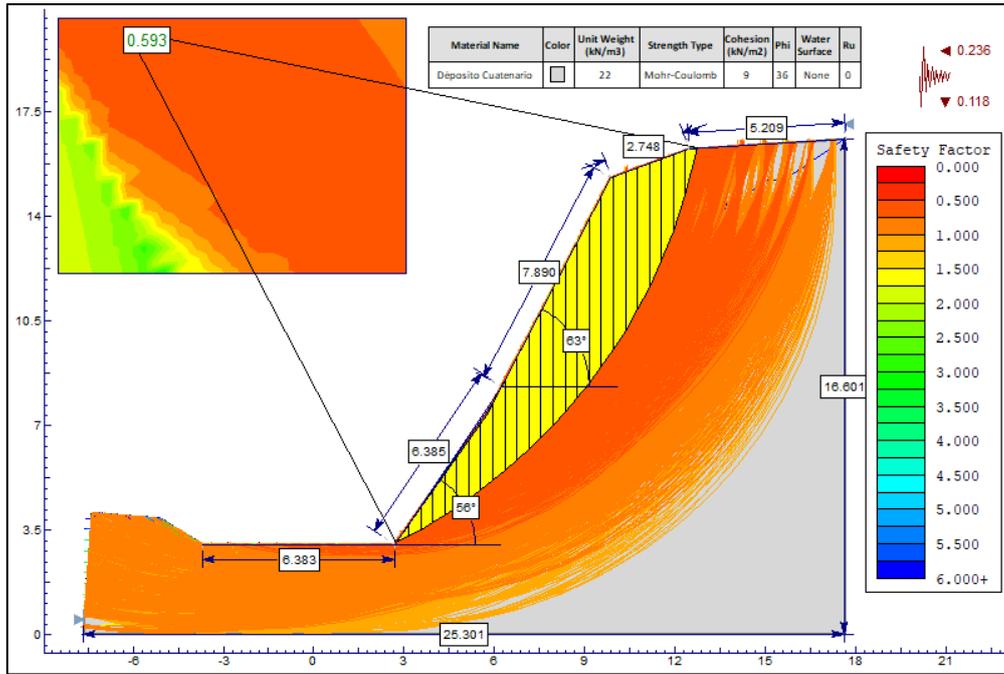


Figura 36. Análisis Slide del talud N° 06 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

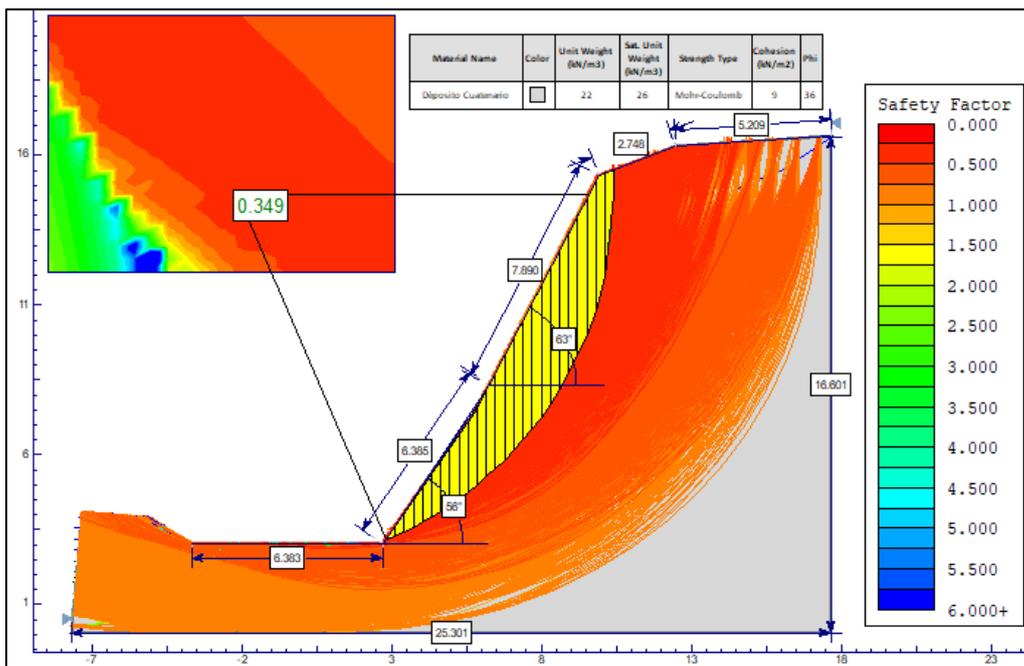
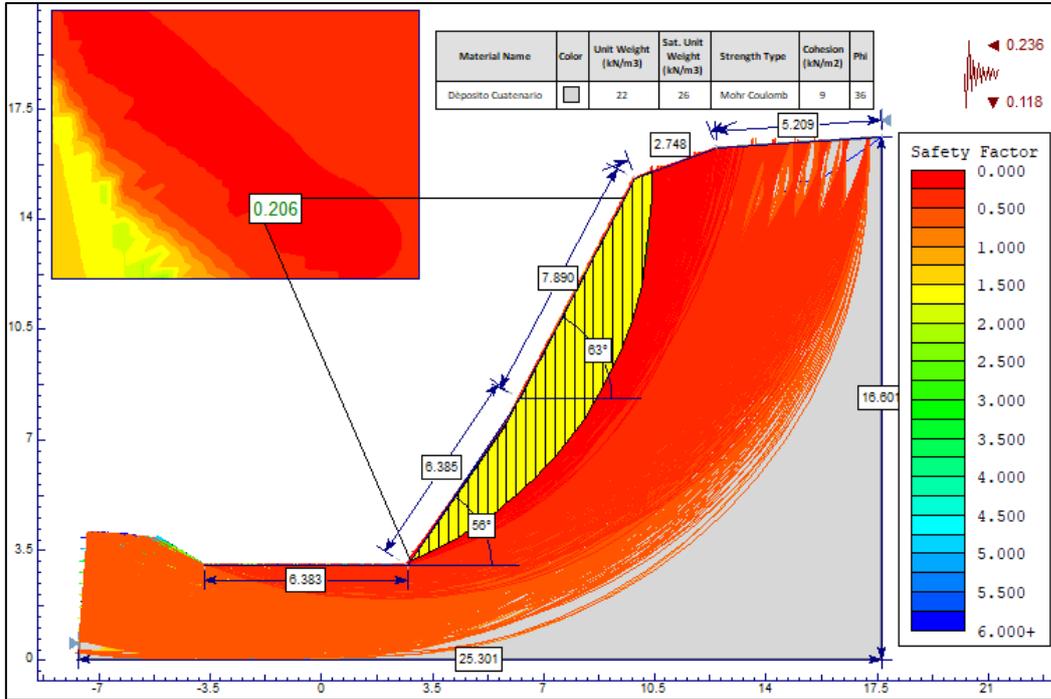
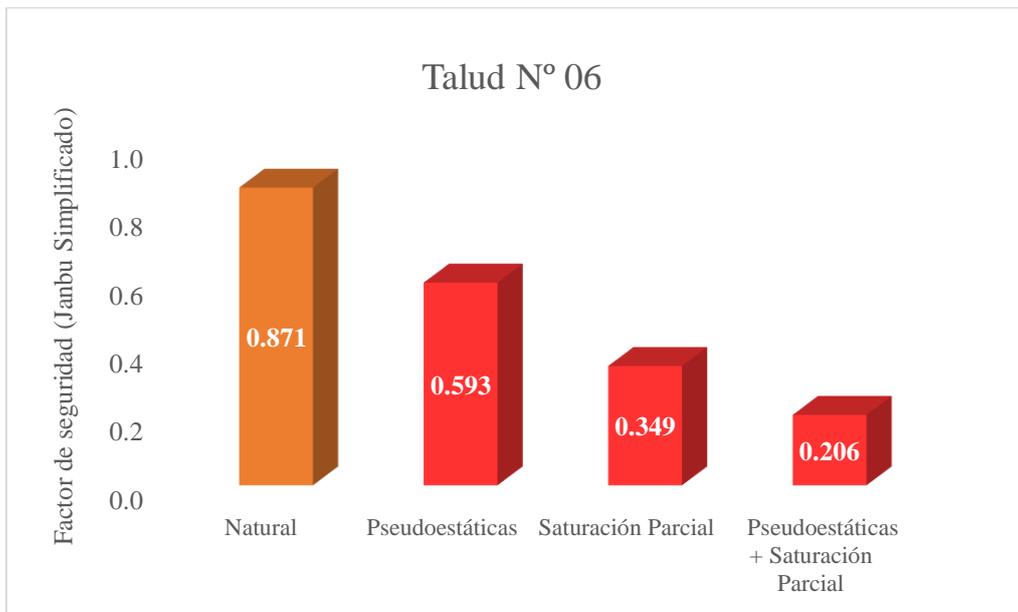


Figura 37. Análisis Slide del talud N° 06 en condiciones saturación parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**  
 Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



**Figura 38.** Análisis Slide del talud N° 06 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 39.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.7. Estación N° 07

**Tabla 15.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 07*

Progresiva (Km)		07 + 500	Descripción del Talud
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		9m	Deposito piroclástico en una matriz arenosa, cementados en una matriz fina de cenizas volcánicas amarillentas con fragmentos piroclásticos de composición andesítica ; levemente meteorizado, sin presencia de agua con presencia de masa deslizada suspendida en el talud
Pendiente del talud		60°	
Longitud Talud		12 m	
Pendiente de masa deslizada		50°	
<b>Ubicación</b>			Deslizamiento reactivado
Norte	Este	Cota	
9229550	801396	3515	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento reactivado
<b>Clasificación SUCS</b>			CL-ML



**Foto 12.** Deposito piroclásticos del Volcánico Porculla.

**a) Análisis geotécnico en condiciones naturales**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

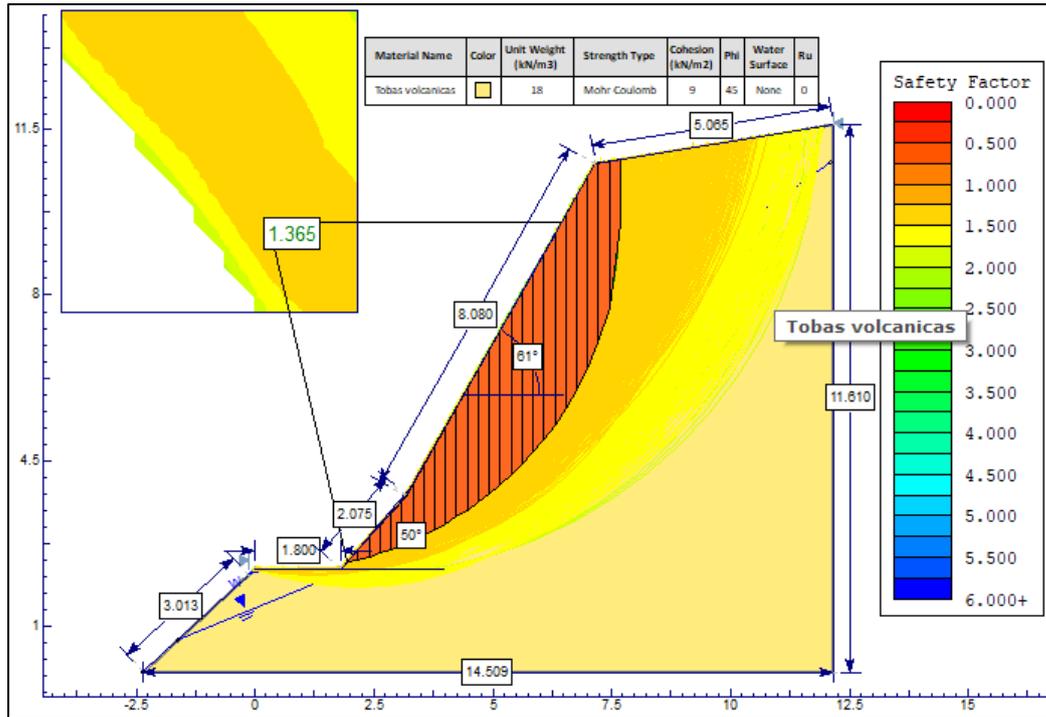


Figura 40. Análisis Slide del talud N° 7 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

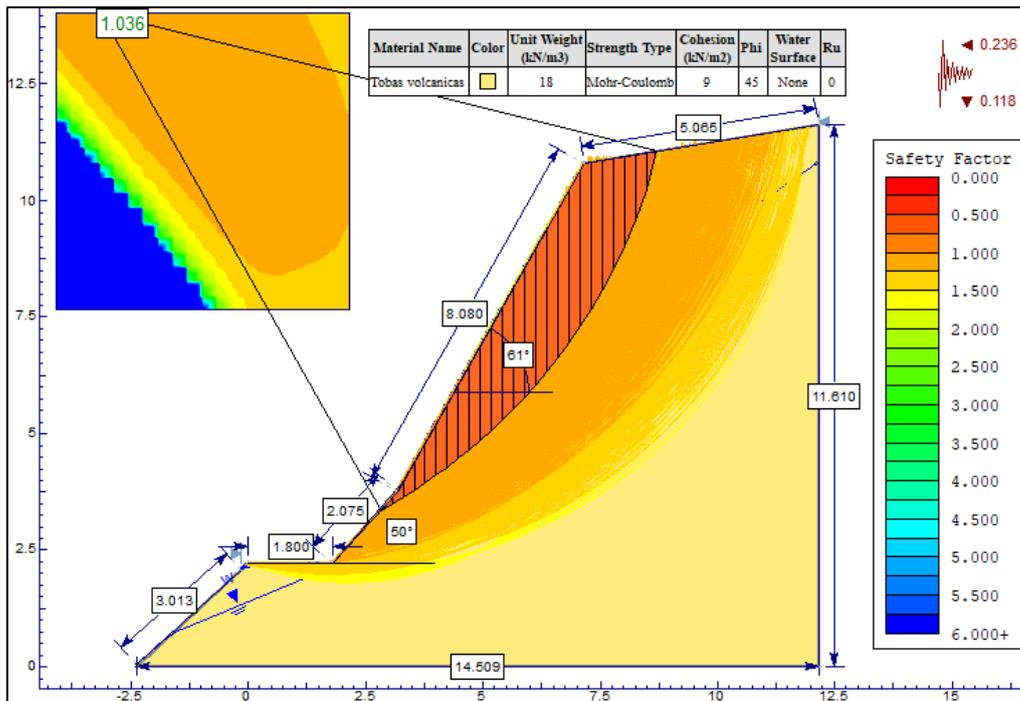
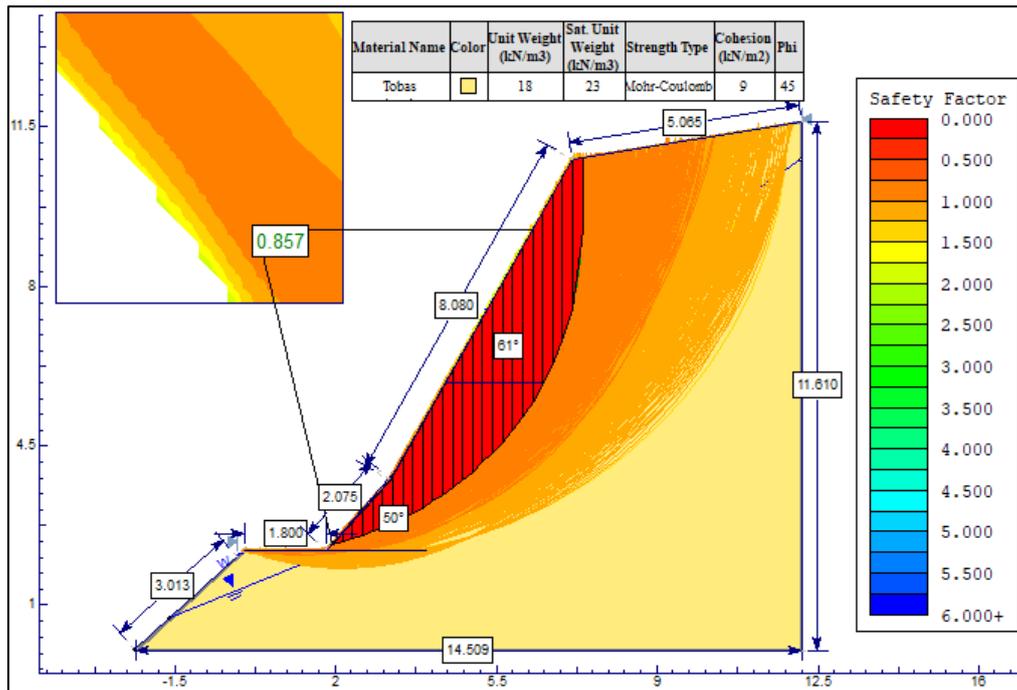


Figura 41. Análisis Slide del talud N° 7 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

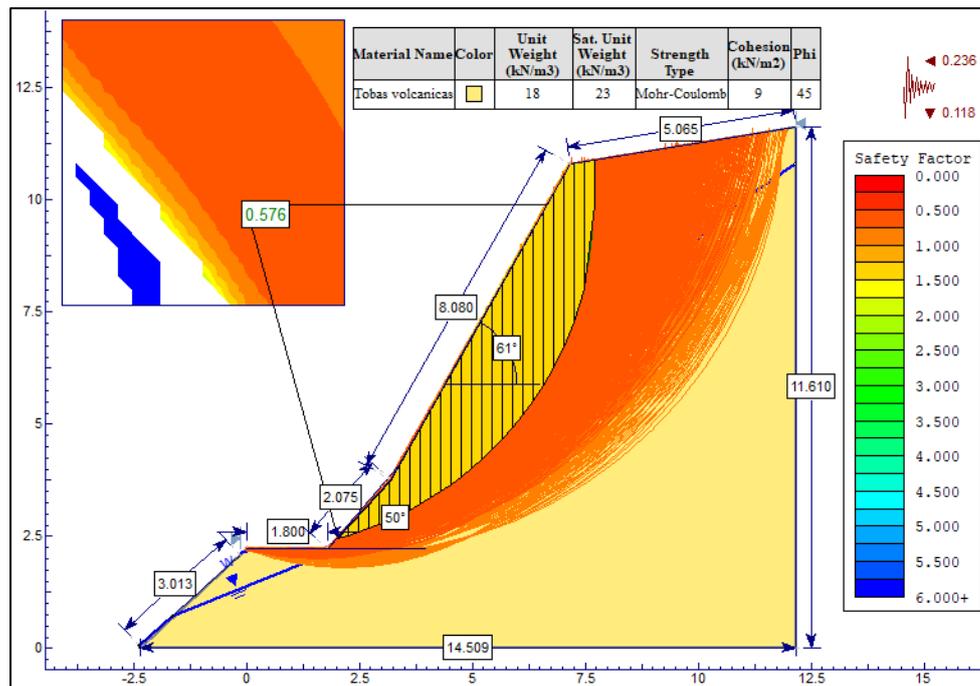
Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



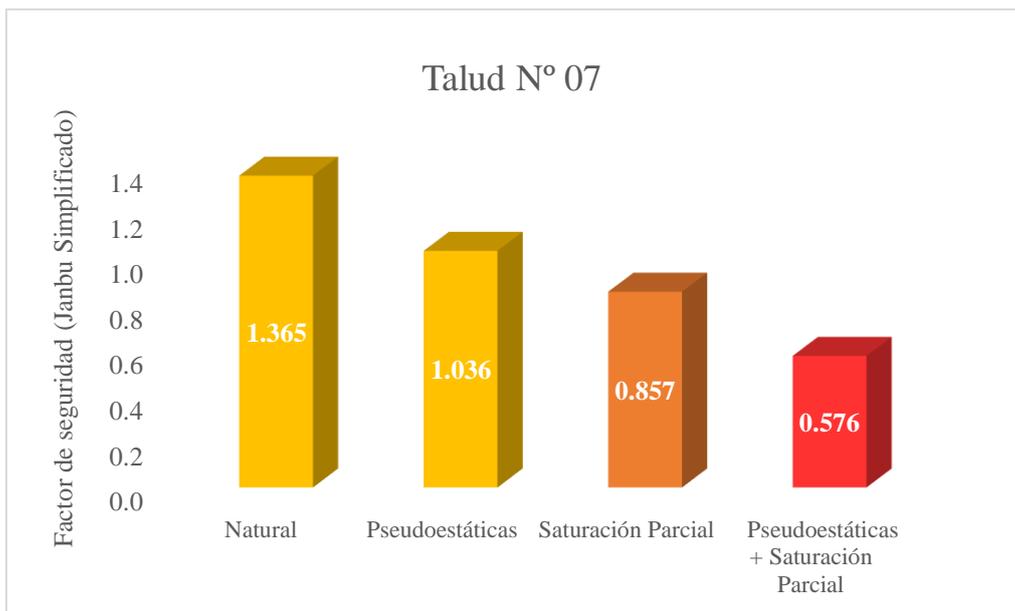
*Figura 42.* Análisis Slide del talud N° 7 en condiciones saturación parcial.

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



*Figura 43.* Análisis Slide del talud N° 7 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 44.** Comparación del factor de seguridad.

### 3.6.2.8. Estación N° 08

**Tabla 16.** *Parámetros geotécnicos del talud N° 08*

Progresiva (Km)		06 + 800	Descripción del Talud
<b>Geometría del Talud</b>			
Altura		22 m	Depósito piroclástico de lapilli y cenizas gris amarillentas volcánicas moderadamente meteorizado, con presencia de agua y una fuerte pendiente.
Pendiente del talud		50°	
Longitud Talud		16 m	
Dirección Talud		32°	
<b>Ubicación</b>			
Norte	Este	Cota	
9230315	801375	3492	
<b>Estado de actividad</b>			Deslizamiento reactivado
<b>Clasificación SUCS</b>			CL-ML



Foto 13. Talud de elevada pendiente en volcánico Porculla.

a) Análisis geotécnico en condiciones naturales

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

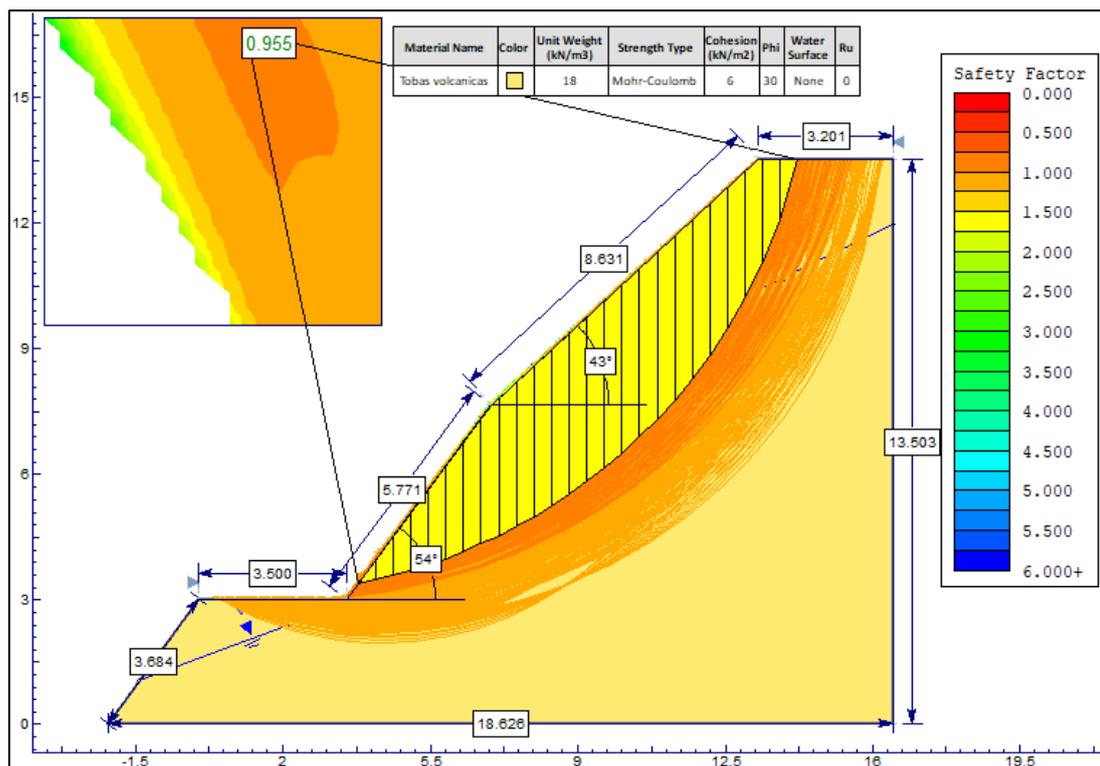


Figura 45. Análisis Slide del talud N° 08 en condiciones naturales.

**b) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

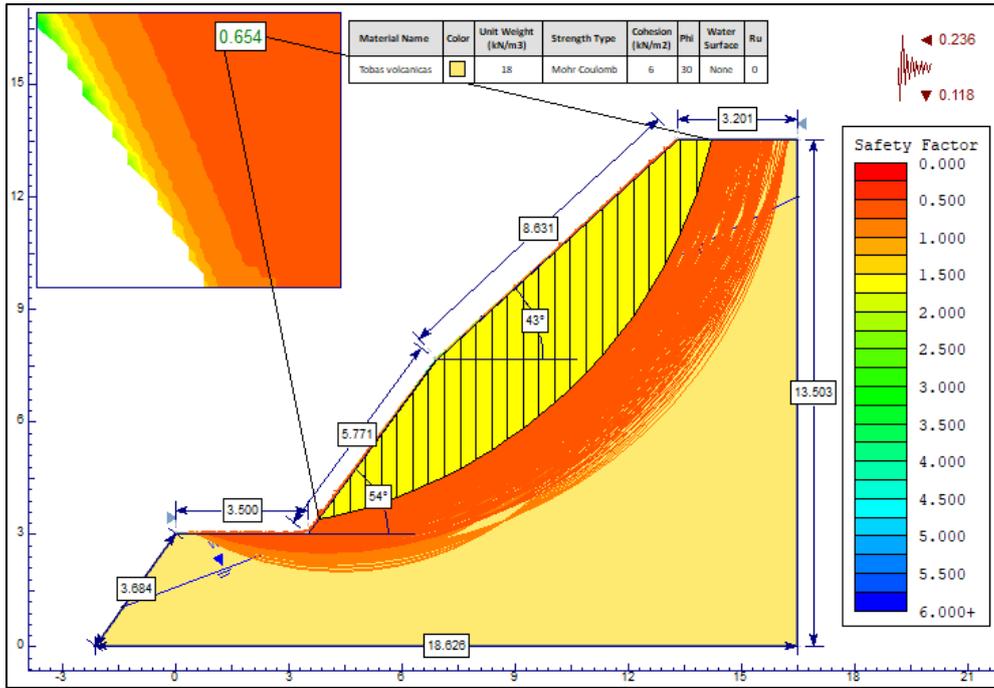


Figura 46. Análisis Slide del talud N° 08 en condiciones Pseudoestáticas.

**c) Análisis geotécnico en condiciones de saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)

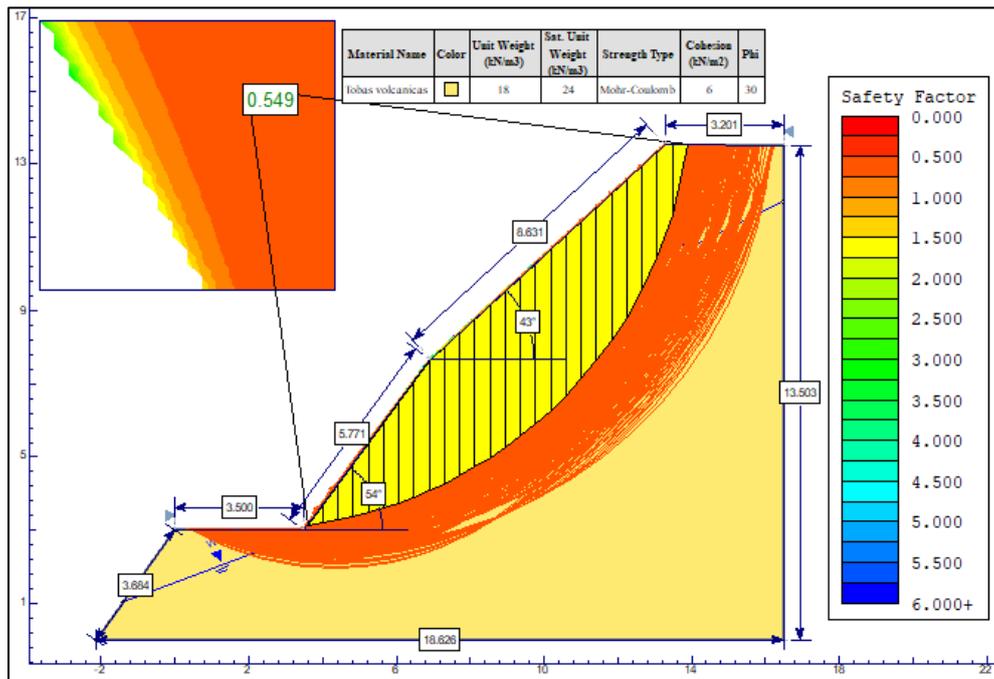
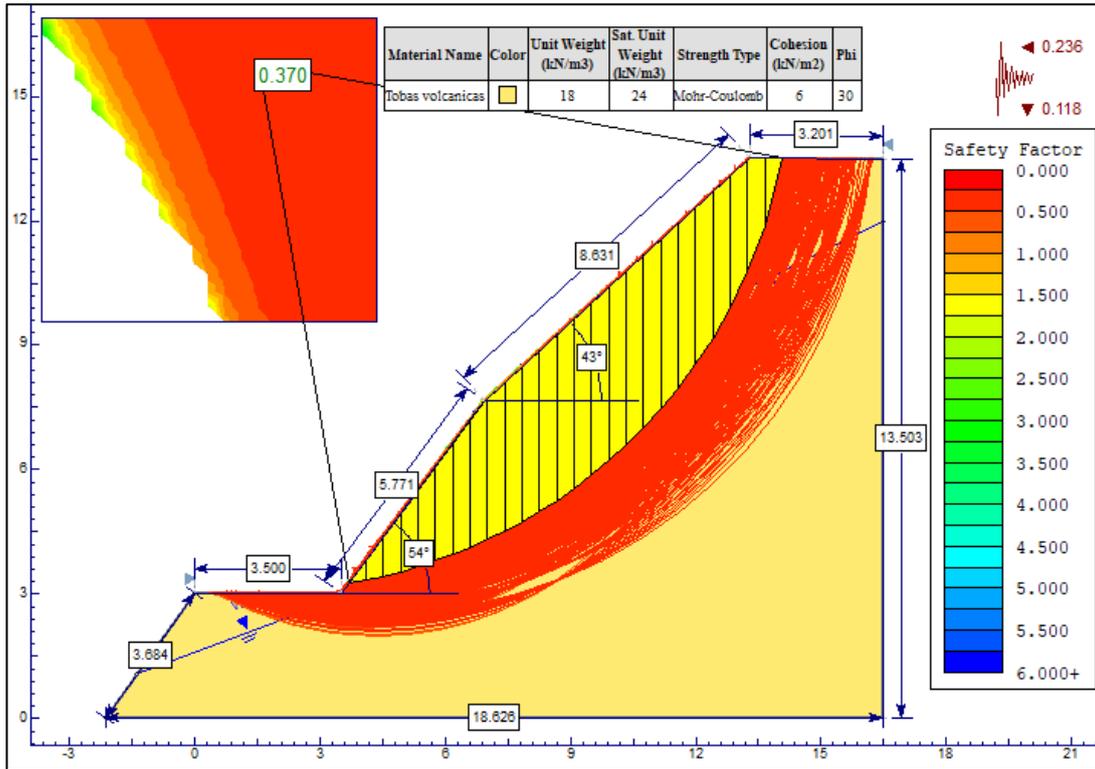


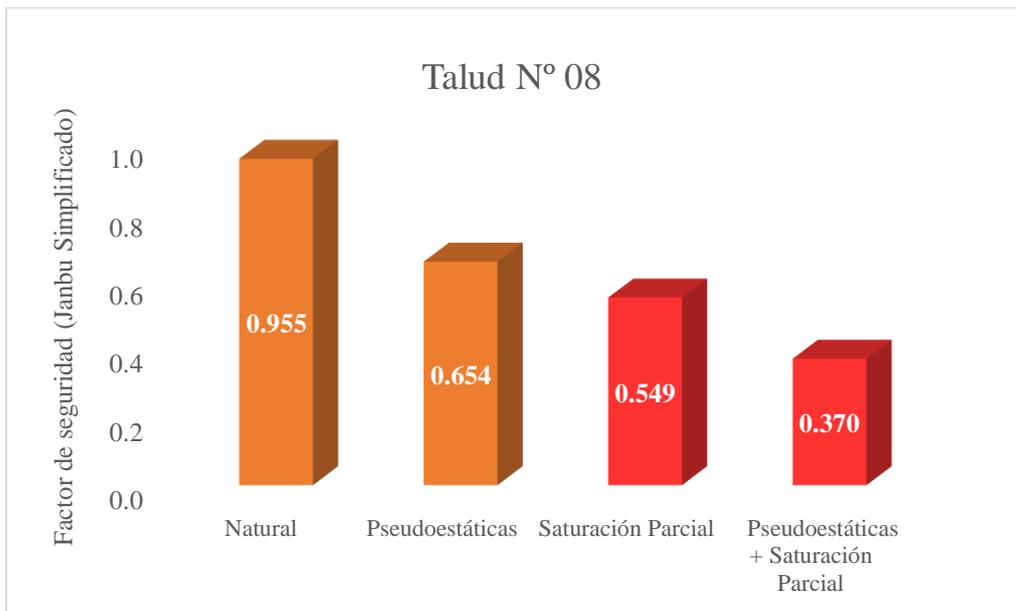
Figura 47. Análisis Slide del talud N° 08 en condiciones Pseudoestáticas

**d) Análisis geotécnico en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial**

Modelo geotécnico generado en el software Silde V.6(Método Janbu Simplificado)



**Figura 48.** Análisis Slide del talud N° 08 en condiciones Pseudoestáticas + saturación parcial.



**Figura 49.** Comparación del factor de seguridad.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Presentación de resultados**

El resultado de la investigación ha determinado los factores de seguridad en los taludes de la carretera Quengomayo – Tandayoc para cada condición dada anteriormente. En las zonas críticas del área de estudio se identifican sectores moderadamente estables, moderadamente inestables e inestables, las cuales disminuyen su factor de seguridad con la presencia de agua debido a las intensas precipitaciones provocando la inestabilidad de dichos sectores, generándose deslizamientos. Asumiendo condiciones sísmicas en los diferentes casos, se evidenció el descenso del factor de seguridad, aumentando en estos casos la probabilidad de deslizamientos.

En el siguiente cuadro se resumen los resultados de los datos más importantes de las 8 estaciones estudiadas para cada condición dada, con los cuales se realizaron los modelamientos de estabilidad, determinando el factor de seguridad según el método simplificado de Janbu. Para determinar estas propiedades en las estaciones se utilizó el criterio de suelos para poder realizar los análisis de estabilidad y modelamiento en el software Slide.

**Tabla 17.** Resumen de los resultados más importantes de las 8 estaciones.

Talud	Tipo	Estado de deslizamiento	F S - Natural	F S - Pseudoestáticas	F S - Saturación Parcial	F S - Pseudoestática + Saturación Parcial
N° 01	Depósito Volcanoclástico	Reactivado	0,947	0,748	0,626	0,432
N° 02	Depósito Q.	Suspendido	0,981	0,622	0,578	0,389
N° 03	Tobas volcánicas	Reactivado	0,921	0,637	0,507	0,338
N° 04	Depósito Volcanoclástico	Inactivo	1,050	0,728	0,686	0,461
N° 05	Andesitas alteradas	Suspendido	0,925	0,688	0,500	0,318
N° 06	Depósito Piroclástico	Suspendido	0,871	0,593	0,349	0,206
N° 07	Depósito Piroclástico	Reactivado	1,365	1,036	0,857	0,576
N° 08	Depósito Piroclástico	Reactivado	0,955	0,654	0,549	0,370

Se realizó la clasificaron frente a potenciales deslizamientos, tomando el criterio basado en Nilsen, 1979, en Varnes 1984.

**Tabla 18.** Rangos de factores de seguridad recomendados por Hoek (2007).

FACTOR DE SEGURIDAD	
RANGO	ESTADO DEL TALUD
0.00 - 0.89	Inestable Absoluto
0.90 - 0.99	Inestable Relativo
1.00 - 1.29	Estable Relativo
1.30 - 1.49	Estable Temporalmente
1.50 - 2.99	Estable Permanentemente
3.00 - 15.00	Estable Absoluto

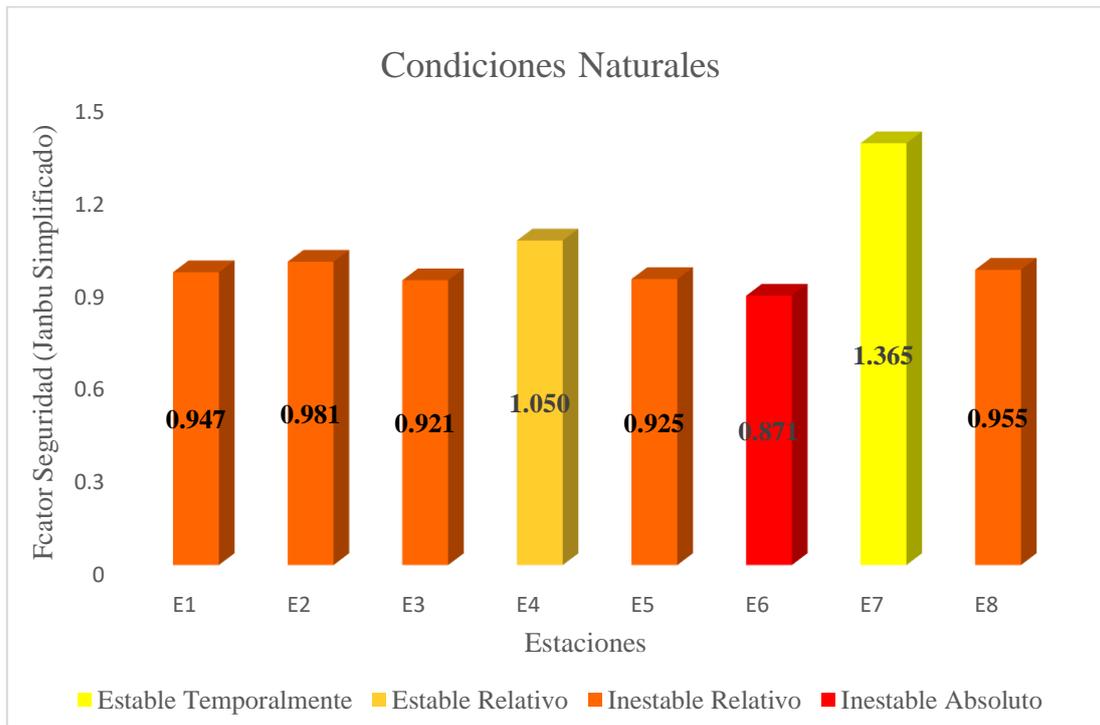
Fuente: Hoek, E. 2007

Utilizando los rangos se graficaron los factores de seguridad vs las estaciones para las diferentes condiciones asumidas.

#### 4.1.1. Condiciones Naturales

Los factores de seguridad en condiciones naturales de las 8 estaciones, evidencian inestabilidad, siendo las estaciones 04 y 07 las que poseen un valor más cercano a 1.5, valor donde son estables los taludes.

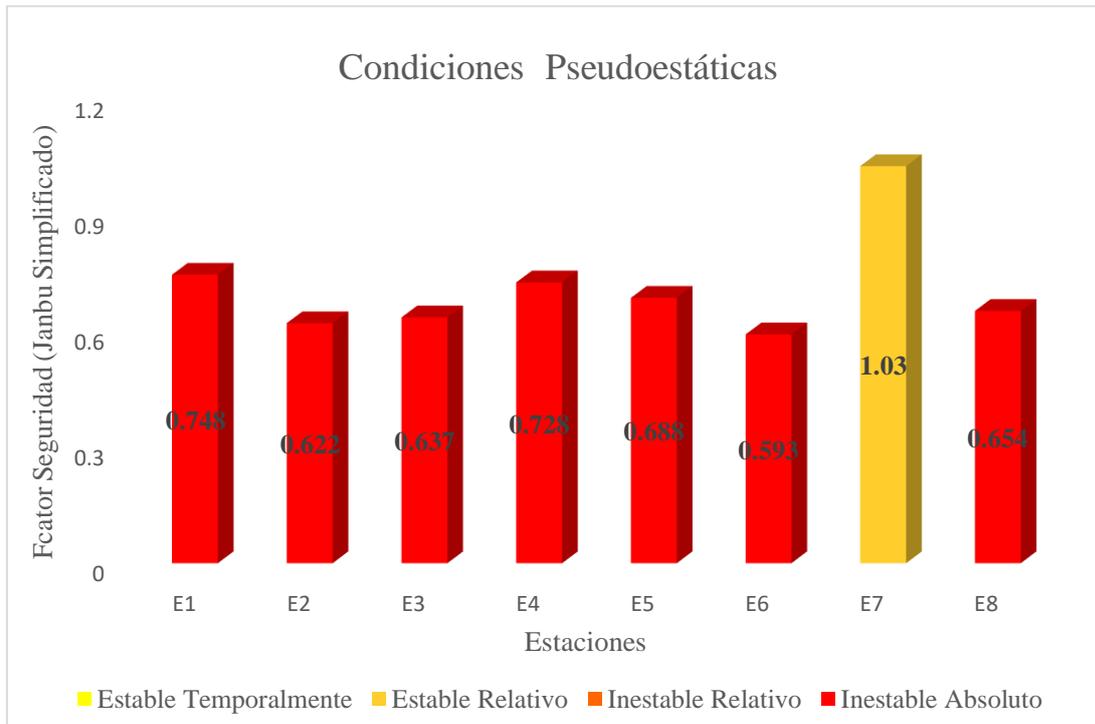
El talud 06 es el talud con un factor de seguridad más bajo, siendo el más inestable de toda la zona de estudio, dicha inestabilidad se debe al tipo de material, el grado de meteorización del talud y la geometría por poseer un elevado ángulo de talud.



**Figura 50.** Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones naturales.

#### 4.1.2. Condiciones Pseudoestáticas

Para las condiciones Pseudoestáticas se asumió cargas sísmicas para todos los taludes, de donde se obtuvieron los factores de seguridad con una evidente disminución a comparación de las condiciones naturales, quedando solo el talud 07, con una estabilidad relativa y los taludes restantes pasaron a ser inestables absolutos.

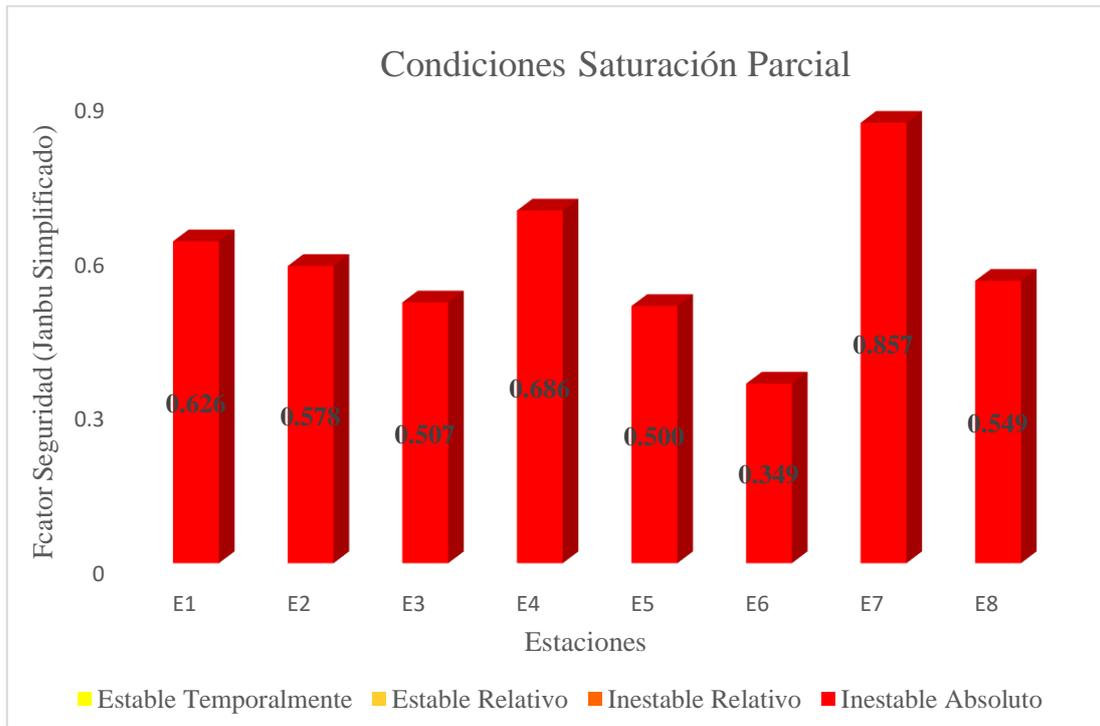


**Figura 51.** Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones Pseudoestáticas.

#### 4.1.3. Condición de saturación parcial

Para esta condición se asumieron lluvias intensas, dando como resultado taludes totalmente inestables, esto debido al material a la poca cohesión y al aumento de peso de los materiales saturados y con presencia de agua.

El talud con mayor factor de seguridad es el N° 07, el cual es el que posee mayor factor de seguridad en todas las condiciones asumidas, sin embargo, también se encuentra en el rango de los taludes inestables absolutos.

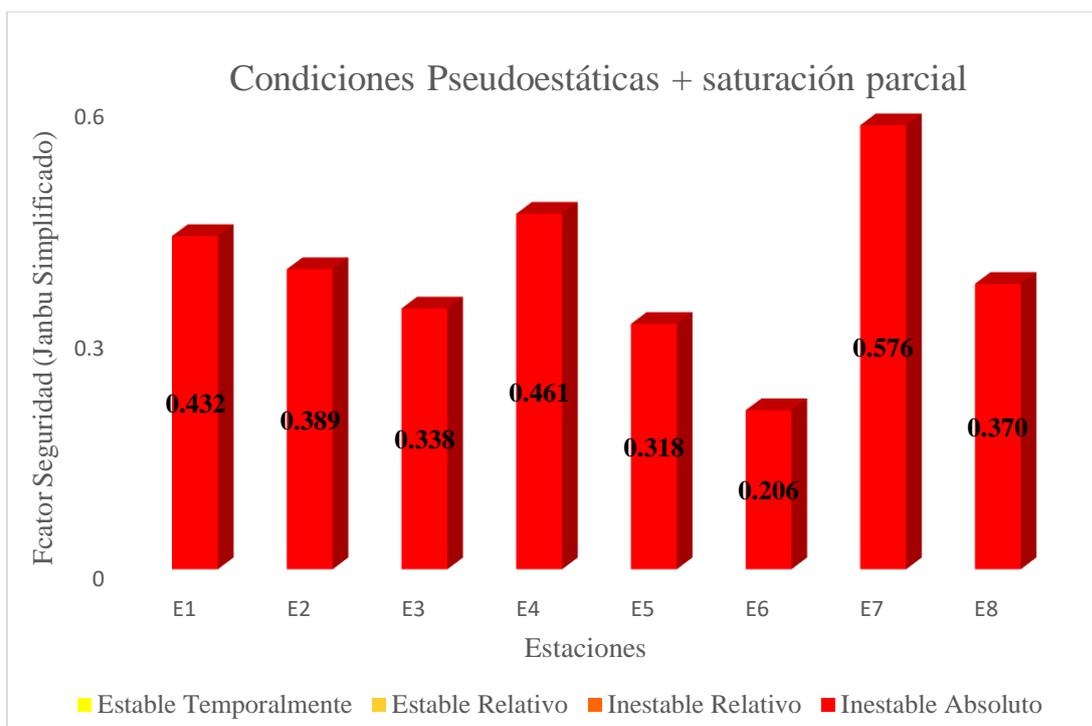


**Figura 52.** Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condición de saturación parcial.

#### 4.1.4. Condiciones pseudoestáticas + Saturación Parcial

Para este caso extremo de saturación parcial y presencia de sismicidad, los factores de seguridad descendieron notablemente, siendo en esta condición totalmente inestables los taludes.

Esta inestabilidad debida a la presencia de agua como factor desencadenante y la sismicidad actuando conjuntamente, ocasionaría un inminente deslizamiento de los taludes de las zonas críticas evaluadas.



**Figura 53.** Comparación de las 8 estaciones vs factor de seguridad en condiciones Pseudoestáticas + Saturación Parcial.

#### 4.2. Análisis de estabilidad y propuesta de remediación

Los resultados obtenidos tras el análisis de estabilidad en el software Slide v 6.0, nos permiten establecer una propuesta de remediación para evitar posibles deslizamientos. En el análisis de estabilidad se toma en cuenta las 4 condiciones estudiadas, determinando la condición más inestable para cada talud.

En la siguiente tabla se resume las propuestas de remediación para cada estación evaluada.

**Tabla 19. Análisis de estabilidad y propuesta de remediación.**

<b>ESTACIÓN</b>	<b>ANÁLISIS DE ESTABILIDAD</b>	<b>PROPUESTA DE REMEDIACIÓN</b>
<b>Nº 01</b>	En el análisis se determinó la estabilidad del talud en condiciones naturales sufriendo un descenso del factor de seguridad para las condiciones saturadas y naturales + sismicidad, siendo más inestable en las condiciones saturadas + sismicidad.	Se recomienda hacer un perfilado, para reducir la pendiente del talud. Como también hacer un correcto sistema de drenaje de las precipitaciones, para evitar la saturación del material del talud.
<b>Nº 02</b>	Talud inestable en condiciones naturales debido a al tipo de material, pendiente y meteorización. Descendiendo notablemente su factor de seguridad con la aplicación de movimientos sísmicos.	Se recomienda hacer una limpieza del talud y revegetación de la zona erosionada.
<b>Nº 03</b>	El análisis define a la zona como moderadamente inestables en condiciones normales, disminuyendo al mínimo en las condiciones saturadas con acción sísmica.	Realizar una limpieza continua del talud y del sistema de drenaje, haciendo un perfilamiento si fuera necesario para disminuir el ángulo del talud.
<b>Nº 04</b>	Talud estable en condiciones naturales, en condiciones saturadas más acción sísmica se nota una evidente inestabilidad, por la infiltración y saturación del talud.	Realizar un monitoreo del talud en épocas de precipitación y un adecuado mantenimiento de los sistemas de drenaje.
<b>Nº 05</b>	En el análisis se determinó una moderada inestabilidad en condiciones naturales sufriendo una importante descenso de su factor de seguridad para las condiciones saturad con acción sísmica.	Perfilamiento del talud e implementar sistemas de drenaje.
<b>Nº06</b>	Talud visiblemente afectado por la meteorización física volviéndolo propenso a deslizamientos en condiciones naturales y más aún cuando se le aplica movimientos sísmicos o saturación en el talud.	Revegetar la zona meteorizada, bajando antes el ángulo de talud. Dar mantenimiento oportuno a las zonas de drenaje para evitar saturación del material.
<b>Nº 07</b>	Talud moderadamente estable, con presencia de vegetación lo cual impide la meteorización y el deslizamiento. Ante las condiciones de saturación y sismicidad se aprecia una disminución en el factor de seguridad pudiendo volverse inestables en dichas condiciones.	Mantener los sistemas de drenaje y monitorear oportunamente el talud.
<b>Nº 08</b>	Por el alto ángulo que posee y la fuerte meteorización que presenta se determina este talud como uno inestables en condiciones naturales, viéndose afectado aún más con las otras condiciones.	Perfilamiento y revegetación, implementación de un sistema de drenaje óptimo para evitar sobresaturación.

### **4.3. Contrastación de la hipótesis**

Con los resultados del estudio geotécnico realizado se ha podido demostrar el comportamiento de los taludes en zonas críticas de la carretera Quengomayo – Tandayoc determinando que la inestabilidad de los taludes en este sector está directamente relacionada con la dinámica endógena y exógena tales como la litología, geomorfología y las propiedades geológicas. Los principales factores desencadenantes para la inestabilidad son las altas precipitaciones que modifican las características de la estabilidad del talud. El ángulo de pendiente del talud y la sismicidad afectan de igual forma en la disminución del factor de seguridad. Verificando deslizamientos en las zonas críticas ubicadas en las rocas del volcánico Huambos y en los depósitos cuaternarios. Con lo cual se confirma la hipótesis inicialmente planteada.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- El comportamiento geotécnico de los taludes ubicados en las zonas críticas de la carretera Quengomayo – Tandayoc, es inestable en el volcánico Huambos y en los depósitos cuaternarios, debido al material poco consolidado, grandes pendientes, el alto ángulo de talud y el tipo de litología presente influyen directamente en su inestabilidad de estas formaciones.
- Las zonas críticas identificadas en el tramo de carretera Quengomayo-Tandayoc, son inestables y propensas al deslizamiento, en especial durante la época de fuertes precipitaciones.
- Los factores de seguridad de las zonas críticas calculados revelan las condiciones actuales de los taludes, evidenciando inestabilidad.
- De acuerdo a la zonificación realizada, se determinaron zonas de mayor susceptibilidad al deslizamiento.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar un monitoreo de los taludes de forma constante por parte de la municipalidad provincial y/o distrital en los meses de abril a noviembre aprovechando estos meses sin precipitaciones, para poder prevenir posibles deslizamientos de los taludes en los meses de lluvias (diciembre-marzo)
- Adoptar medidas de mitigación y control periódico por parte de las municipalidades, en los meses de ausencia de estiaje, en las zonas críticas desarrollando estructuras de drenaje y preservar el correcto funcionamiento del sistema de drenaje, para conservar los taludes estables.
- Realizar ensayos triaxiales, determinando así con mayor exactitud las propiedades de los materiales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dávila, J. (2001). Diccionario geológico. Perú.
- González, V. (2004). Ingeniería Geológica. Madrid: Isabel Capella.
- Hoek, E. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.
- Hoek, E., Carranza, C., & Corkum, B. (2002). El criterio de rotura de Hoek - Brown - Edición 2002. Minnesota.
- Mercado, M. (2014). Análisis de Inestabilidad de Taludes en Zonas Críticas en la carretera Cajamarca - Celendín. Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2016). Zonas sísmicas del Perú.
- Rodríguez, R. (2014). Unidades Geomorfológicas. Cajamarca.
- Suárez, D. (2009). Deslizamientos: Análisis Geotécnico - Tomo I.
- Wilson, J. (1984). Boletín N° 38 Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepen .Lima: INGEMMET.
- Zavala & Rosado, M. (2011). "Riesgo Geológico en la Región Cajamarca". Lima: INGEMMET.
- Zavaleta, A. (2016). Evaluación Geotécnica en Zonas Críticas de la Carretera Cajabamba Cauday. Cajamarca.
- Zúñiga, R. (2011). Frecuencia de la ocurrencia de sismos.

## **ANEXOS**