

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LADERAS  
INESTABLES EN EL DISTRITO DE PACCHA - PROVINCIA DE CHOTA**

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

**AUTOR:  
BACH. HUAMÁN FERNÁNDEZ BRANDON**

**ASESOR  
DR. LAGOS MANRIQUE ALEJANDRO CLAUDIO**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2024**



## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador : BRANDON HUAMÁN FERNÁNDEZ  
DNI : 73506178  
Escuela Profesional : INGENIERÍA GEOLÓGICA
- Asesor : ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE  
Facultad : INGENIERÍA
- Grado académico o título profesional  
 Bachiller  Título profesional  Segunda especialidad  
 Maestro  Doctor
- Tipo de Investigación:  
 Tesis  Trabajo de investigación  Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:  
ANÁLISIS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LADERAS INESTABLES EN EL DISTRITO DE PACCHA - PROVINCIA DE CHOTA
- Fecha de evaluación: 2 DE OCTUBRE DEL 2024
- Software antiplagio:  TURNITIN  URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud: 10%
- Código Documento: oid: 3117:387827382
- Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO  PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/10/2024



Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique

FIRMA DEL ASESOR  
Alejandro Claudio Lagos Manrique  
DNI: 09224934

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE INVESTIGACIÓN Leon  
DIRECTORA

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por dirigir mi camino y por alimentar mis aspiraciones de convertirme en un profesional destacado.

Agradezco a mi universidad, la Universidad Nacional de Cajamarca, y a mi querida Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica por proporcionarme los recursos necesarios para mi desarrollo profesional.

Expreso mi gratitud a mis profesores, en particular al Dr. Alejandro Lagos Manrique, por su orientación y apoyo en la realización de esta investigación.

## **DEDICATORIA**

Esta investigación la dedico a mis padres, Delmer y Marcela, cuyo constante y pleno respaldo han sido fundamentales en mi trayectoria académica.

A mis amigos, Emerson, Daniel y Cristian, quienes con su presencia y aliento incesante han sido un pilar fundamental en el desarrollo de la investigación, impulsándome a avanzar en cada paso dado.

## CONTENIDO

|                                    | Pág.        |
|------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....        | <b>i</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....           | <b>ii</b>   |
| <b>CONTENIDO</b> .....             | <b>iii</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....      | <b>vi</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....     | <b>ix</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS</b> ..... | <b>xi</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> ..... | <b>xiii</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....               | <b>xiv</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....              | <b>xv</b>   |

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

|   |          |
|---|----------|
| <b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....                | <b>3</b> |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales .....                         | 3        |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales .....                              | 3        |
| 2.1.3. Antecedentes Locales .....                                 | 4        |
| <b>2.2. BASES TEÓRICAS</b> .....                                  | <b>5</b> |
| 2.2.1. Geología.....  | 5        |
| 2.2.2. Formaciones Geológicas.....                                | 5        |
| 2.2.3. Depósitos Cuaternarios .....                               | 6        |
| 2.2.4. Pendiente.....   | 6        |
| 2.2.5. Clasificación de Unidades Morfogenéticas .....             | 6        |
| 2.2.6. Suelos en Ingeniería Geológica .....                       | 7        |
| 2.2.7. Peligro por Deslizamientos .....                           | 7        |
| 2.2.8. Nomenclatura de Ladera y Talud.....                        | 7        |
| 2.2.9. Inestabilidad de Laderas .....                             | 8        |
| 2.2.10. Factores que determinan la Inestabilidad de Laderas ..... | 8        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.11. Tipos de Movimiento de Laderas .....                       | 9         |
| 2.2.12. Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos .....  | 11        |
| 2.2.13. Criterio de Rotura de Hoek - Brown.....                    | 13        |
| 2.2.14. Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb .....                   | 15        |
| 2.2.15. Obtención de la Envolvente de Rotura de Mohr-Coulomb ..... | 16        |
| 2.2.16. Métodos de Análisis de Estabilidad.....                    | 17        |
| 2.2.17. Susceptibilidad Sísmica .....                              | 18        |
| 2.2.18. Análisis Sísmico de Taludes .....                          | 19        |
| <b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>                    | <b>20</b> |

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>                    | <b>21</b> |
| 3.1.1. Política .....  | 21        |
| 3.1.2. Geográfica.....   | 21        |
| 3.1.3. Accesibilidad .....   | 21        |
| <b>3.2. CLIMA Y VEGETACIÓN .....</b>                               | <b>22</b> |
| 3.2.1. Clima.....  | 22        |
| 3.2.2. Vegetación .....  | 27        |
| <b>3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                   | <b>27</b> |
| 3.3.1. Tipo, Diseño y Método de la Investigación.....              | 27        |
| 3.3.2. Población de Estudio .....                                  | 27        |
| 3.3.3. Muestra .....   | 27        |
| 3.3.4. Unidad de Análisis.....                                     | 27        |
| 3.3.5. Definición de Variables .....                               | 28        |
| <b>3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>  | <b>28</b> |
| 3.4.1. Técnicas .....  | 28        |
| 3.4.2. Instrumentos y Equipos .....                                | 28        |
| <b>3.5. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b> | <b>29</b> |
| 3.5.1. Geología.....   | 29        |
| 3.5.2. Unidades Morfogenéticas .....                               | 34        |
| 3.5.3. Hidrología.....   | 37        |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.5.4. Sismicidad..... | 39 |
| 3.5.5. Geotecnia ..... | 40 |

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

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>  | <b>75</b> |
| 4.1.1. Evaluación de la Estabilidad de los Taludes.....                        | 75        |
| 4.1.2. Relación del Peligro por Deslizamientos con los Taludes Inestables..... | 76        |
| <b>4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>                                      | <b>78</b> |
| <b>4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....</b>                                | <b>78</b> |

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>          | <b>79</b> |
| <b>5.2. RECOMENDACIONES .....</b>       | <b>80</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>81</b> |
| <br>                                    |           |
| <b>6. ANEXOS.....</b>                   | <b>84</b> |
| A. Formatos y Tablas de Apoyo.....      | 84        |
| B. Mapas Temáticos .....                | 84        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1: Clasificación de unidades morfogénicas .....                             | 6    |
| Tabla 2: Clasificación general de los movimientos de ladera .....                 | 10   |
| Tabla 3: Valores para el GSI .....  | 12   |
| Tabla 4: Clasificación de la calidad de roca de acuerdo al GSI .....              | 12   |
| Tabla 5: Guías para estimar el factor de alteración D .....                       | 14   |
| Tabla 6: Factor de susceptibilidad sísmica por zonas.....                         | 19   |
| Tabla 7: Vértices del área de investigación .....                                 | 21   |
| Tabla 8: Datos de accesibilidad .....   | 21   |
| Tabla 9: Parámetros de la cuenca del Río Llaucano.....                            | 23   |
| Tabla 10: Precipitación a la altitud media de la cuenca de 3497.32 msnm (PP)..... | 24   |
| Tabla 11: Balance Hidrológico.....  | 26   |
| Tabla 12: Variables.....  | 28   |
| Tabla 13: Datos del Talud 1 .....   | 41   |
| Tabla 14: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 1 .....    | 42   |
| Tabla 15: Parámetros del del Talud 1 .....  | 42   |
| Tabla 16: Datos del Talud 2 .....   | 44   |
| Tabla 17: Parámetros del Talud 2.....   | 44   |
| Tabla 18: Datos del Talud 3 .....   | 46   |
| Tabla 19: Parámetros del Talud 3.....   | 46   |
| Tabla 20: Datos del Talud 4 .....   | 48   |
| Tabla 21: Parámetros del Talud 4.....   | 48   |
| Tabla 22: Datos del Talud 5 .....   | 50   |
| Tabla 23: Parámetros del Talud 5.....   | 50   |
| Tabla 24: Datos del Talud 6 .....   | 52   |
| Tabla 25: Parámetros del Talud 6.....   | 52   |
| Tabla 26: Datos del Talud 7 .....   | 54   |
| Tabla 27: Parámetros del Talud 7.....   | 54   |
| Tabla 28: Datos del Talud 8 .....   | 56   |
| Tabla 29: Parámetros del Talud 8.....   | 56   |
| Tabla 30: Datos del Talud 9 .....   | 58   |
| Tabla 31: Parámetros de los limos del Talud 9 .....                               | 58   |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 32: Parámetros de los depósitos cuaternarios del Talud 9.....                   | 58 |
| Tabla 33: Datos del Talud 10 .....  | 60 |
| Tabla 34: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para suelos del Talud 10 .....        | 60 |
| Tabla 35: Datos del Talud 11 .....  | 62 |
| Tabla 36: Parámetros de limos del Talud 11 .....                                      | 62 |
| Tabla 37: Parámetros de los depósitos coluvio-aluviales Talud 11.....                 | 62 |
| Tabla 38: Datos del Talud 12 .....  | 64 |
| Tabla 39: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para limo-arcillas del Talud 12 ..... | 64 |
| Tabla 40: Datos del Talud 13 .....  | 66 |
| Tabla 41: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para suelos del Talud 13 .....        | 66 |
| Tabla 42: Datos del Talud 14 .....  | 68 |
| Tabla 43: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 14 .....       | 68 |
| Tabla 44: Parámetros para limos del Talud 14.....                                     | 69 |
| Tabla 45: Datos del Talud 15 .....  | 70 |
| Tabla 46: Parámetros del Talud 15.....  | 71 |
| Tabla 47: Datos del Talud 16 .....  | 73 |
| Tabla 48: Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 16 .....       | 73 |
| Tabla 49: Parámetros depósitos coluvio-aluviales del Talud 16.....                    | 73 |
| Tabla 50: FS en taludes de acuerdo a la normativa AASHTO LRFD.....                    | 75 |
| Tabla 51: Grado de Estabilidad de los Taludes según su Factor de Seguridad.....       | 76 |
| Tabla 52: Estación Geológica-Geotécnica N°1 .....                                     | 85 |
| Tabla 53: Estación Geológica-Geotécnica N°2.....                                      | 86 |
| Tabla 54: Estación Geológica-Geotécnica N°3 .....                                     | 87 |
| Tabla 55: Estación Geológica-Geotécnica N°4.....                                      | 88 |
| Tabla 56: Estación Geológica-Geotécnica N°5.....                                      | 89 |
| Tabla 57: Estación Geológica-Geotécnica N°6.....                                      | 90 |
| Tabla 58: Estación Geológica-Geotécnica N°7 .....                                     | 91 |
| Tabla 59: Estación Geológica-Geotécnica N°8.....                                      | 92 |
| Tabla 60: Estación Geológica-Geotécnica N°9.....                                      | 93 |
| Tabla 61: Estación Geológica-Geotécnica N°10.....                                     | 94 |
| Tabla 62: Estación Geológica-Geotécnica N°11 .....                                    | 95 |
| Tabla 63: Estación Geológica-Geotécnica N°12 .....                                    | 96 |
| Tabla 64: Estación Geológica-Geotécnica N°13.....                                     | 97 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 65: Estación Geológica-Geotécnica N°14 .....                                  | 98  |
| Tabla 66: Estación Geológica-Geotécnica N°15 .....                                  | 99  |
| Tabla 67: Estación Geológica-Geotécnica N°16 .....                                  | 100 |
| Tabla 68: Valores de Peso Unitario, Ángulo de Fricción y Cohesión.....              | 101 |
| Tabla 69: Tabla para Valores de Peso Unitario de Suelos .....                       | 102 |
| Tabla 70: Valores de Cohesión, Ángulo de Fricción y Peso Unitario de los 16 Taludes | 103 |
| Tabla 71: Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfología .....          | 104 |
| Tabla 72: Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfología.....         | 104 |
| Tabla 73: Matriz de relación de consistencia del parámetro geomorfología.....       | 104 |
| Tabla 74: Matriz de comparación de pares del parámetro geología.....                | 104 |
| Tabla 75: Matriz de normalización de pares del parámetro geología.....              | 105 |
| Tabla 76: Matriz de relación de consistencia del parámetro geología .....           | 105 |
| Tabla 77: Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente .....              | 105 |
| Tabla 78: Matriz de normalización de pares del parámetro pendiente.....             | 105 |
| Tabla 79: Matriz de consistencia del parámetro pendiente .....                      | 106 |
| Tabla 80: Matriz de Ponderación del Peligro .....                                   | 107 |
| Tabla 81: Matriz de Peligro .....   | 107 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1: Nomenclatura de Taludes y Laderas .....                                       | 7    |
| Figura 2: Nomenclatura de un Deslizamiento .....  | 8    |
| Figura 3: Esquema de Factores de Inestabilidad .....                                    | 9    |
| Figura 4: Envolventes de Mohr-Coulomb .....   | 15   |
| Figura 5: Representación gráfica de linealización.....                                  | 16   |
| Figura 6: Susceptibilidad sísmica del territorio peruano .....                          | 18   |
| Figura 7: Rutas de accesibilidad al distrito de Paccha.....                             | 22   |
| Figura 9: Precipitación max (mm) a la altura 3497.32 msnm (PP).....                     | 24   |
| Figura 10: Factor de Seguridad del Talud 1 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 43   |
| Figura 11: Factor de Seguridad del Talud 1 en condiciones estáticas.....                | 43   |
| Figura 12: Factor de Seguridad del Talud 2 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 45   |
| Figura 13: Factor de Seguridad del Talud 2 en condiciones estáticas.....                | 45   |
| Figura 14: Factor de Seguridad del Talud 3 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 47   |
| Figura 15: Factor de Seguridad del Talud 3 en condiciones estáticas.....                | 47   |
| Figura 16: Factor de Seguridad del Talud 4 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 49   |
| Figura 17: Factor de Seguridad del Talud 4 en condiciones estáticas.....                | 49   |
| Figura 18: Factor de Seguridad del Talud 5 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 51   |
| Figura 19: Factor de Seguridad del Talud 5 en condiciones estáticas.....                | 51   |
| Figura 20: Factor de Seguridad del Talud 6 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 53   |
| Figura 21: Factor de Seguridad del Talud 6 en condiciones estáticas.....                | 53   |
| Figura 22: Factor de Seguridad del Talud 7 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 55   |
| Figura 23: Factor de Seguridad del Talud 7 en condiciones estáticas.....                | 55   |
| Figura 24: Factor de Seguridad del Talud 8 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 57   |
| Figura 25: Factor de Seguridad del Talud 8 en condiciones estáticas.....                | 57   |
| Figura 26: Factor de Seguridad del Talud 9 en condiciones pseudoestáticas y saturadas.  | 59   |
| Figura 27: Factor de Seguridad del Talud 9 en condiciones estáticas.....                | 59   |
| Figura 28: Factor de Seguridad del Talud 10 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 61   |
| Figura 29: Factor de Seguridad del Talud 10 en condiciones estáticas.....               | 61   |
| Figura 30: Factor de Seguridad del Talud 11 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 63   |
| Figura 31: Factor de Seguridad del Talud 11 en condiciones estáticas.....               | 63   |
| Figura 32: Factor de Seguridad del Talud 12 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 65   |

|   |    |
|---|----|
| Figura 33: Factor de Seguridad del Talud 12 en condiciones estáticas.....               | 65 |
| Figura 34: Factor de Seguridad del Talud 13 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 67 |
| Figura 35: Factor de Seguridad del Talud 13 en condiciones estáticas.....               | 67 |
| Figura 36: Factor de Seguridad del Talud 14 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 69 |
| Figura 37: Factor de Seguridad del Talud 14 en condiciones estáticas.....               | 70 |
| Figura 38: Factor de Seguridad del Talud 15 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 71 |
| Figura 39: Factor de Seguridad del Talud 15 en condiciones estáticas.....               | 72 |
| Figura 40: Factor de Seguridad del Talud 16 condiciones pseudoestáticas y saturadas ... | 74 |
| Figura 41: Factor de Seguridad del Talud 16 en condiciones estáticas.....               | 74 |
| Figura 41: Nivel de Peligro por Deslizamientos y Ubicación de los Taludes.....          | 77 |

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Foto 1: Afloramiento de la Formación Chimú .....                              | 30   |
| Foto 2: Afloramiento de la Formación Santa .....                              | 30   |
| Foto 3: Afloramiento de la Formación Carhuaz .....                            | 31   |
| Foto 4: Afloramiento de la Formación Farrat.....                              | 31   |
| Foto 5: Afloramiento de la Formación Chúlec .....                             | 32   |
| Foto 6: Afloramiento de la Formación Pariatambo .....                         | 33   |
| Foto 7: Afloramiento del Grupo Pulluicana .....                               | 33   |
| Foto 8: Depósitos Coluvio-Aluviales .....                                     | 34   |
| Foto 9: Planicie de 3° de pendiente .....                                     | 35   |
| Foto 10: Lomada de 12° .....  | 35   |
| Foto 11: Ladera de 45° .....  | 36   |
| Foto 12: Escarpa de 83° .....   | 36   |
| Foto 13: Vista del Río Simon Mayo .....                                       | 37   |
| Foto 14: Quebrada intermitente.....   | 38   |
| Foto 15: Quebrada de corriente efímera .....                                  | 38   |
| Foto 16: Quebrada intermitente.....   | 39   |
| Foto 17: Quebrada de corriente efímera .....                                  | 39   |
| Foto 18: Talud ubicado en Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha .....   | 41   |
| Foto 19: Talud en depósitos coluvio-aluviales en el Km 29+800 .....           | 44   |
| Foto 20: Talud de suelo conformado principalmente de material arcilloso ..... | 46   |
| Foto 21: Talud ubicado en el Km 0+600 de la carretera Paccha-Paccha Baja..... | 48   |
| Foto 22: Talud de suelo arcilloso en el Km 0+600 .....                        | 50   |
| Foto 23: Talud de suelo arcilloso .....                                       | 52   |
| Foto 24: Talud en depósitos cuaternarios .....                                | 54   |
| Foto 25: Talud de material cuaternario coluvio-aluvial .....                  | 56   |
| Foto 26: Talud de suelo .....   | 58   |
| Foto 27: Talud en depósitos coluvio-aluviales .....                           | 60   |
| Foto 28: Talud de suelo limo-arcilloso y fragmentos de roca caliza.....       | 62   |
| Foto 29: Talud de suelo limo-arcilloso.....                                   | 64   |
| Foto 30: Talud de suelo limo-arcilloso.....                                   | 66   |
| Foto 31: Talud de roca caliza de la Formación Chúlec .....                    | 68   |

|   |    |
|---|----|
| Foto 32: Talud de suelo arcillo-limoso y bloques de roca caliza marga .....           | 70 |
| Foto 33: Calizas nodulares y una capa de suelo limoso en la corona del Talud 16 ..... | 72 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                 |   |
|-----------------|---|
| MDE:            | Modelo Digital de Elevaciones                               |
| Ki:             | Cretáceo Inferior   |
| pa:             | Cretáceo Superior   |
| NE:             | Noreste   |
| Qh:             | Cuaternario-holoceno  |
| s:              | Constante que depende de las propiedades del macizo rocoso  |
| sigc:           | Resistencia a la compresión uniaxial del macizo rocoso      |
| sigcm:          | Resistencia global del macizo rocoso                        |
| sigt:           | Fuerza de tensión del macizo rocoso                         |
| SW:             | Suroeste  |
| $\sigma'_1$ :   | Tensión efectiva principal mayor en el momento de la rotura |
| $\sigma'_3$ :   | Tensión efectiva principal menor en el momento de la rotura |
| $\sigma_{ci}$ : | Resistencia a la compresión uniaxial de los bloques de roca |
| $\phi$ :        | Ángulo de Fricción  |
| $\tau$ :        | Tensión Tangencial  |
| UTM:            | Universal Transversal de Mercator                           |
| WGS84:          | World Geodesic System 1984                                  |
| Y:              | Peso Específico   |

## RESUMEN

La presente investigación expone características geológicas y geotécnicas de laderas en el distrito de Paccha, provincia de Chota. A medida que el desarrollo urbano del distrito de Paccha crece, se generan actividades como la deforestación y excavación para construcción de carreteras y viviendas que impactan en la estabilidad de laderas. El objetivo general es analizar el comportamiento geológico - geotécnico de laderas inestables en el distrito de Paccha, provincia de Chota, es por ello que se recopiló la información geológica – geotécnica, luego, con la ayuda de AutoCAD 2023 se dibujó la geometría de los taludes, además, en RocData V4.0 se obtuvo valores de la cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, que ingresados en conjunto con la geometría del talud al Slide V6.0 obtenemos el factor de seguridad. Además, luego de cartografiar la geología, geomorfología y obtener datos de pendiente a partir de un MDE, se elaboró el mapa de peligro por deslizamientos usando la matriz de Saaty propuesta por Chuquichanca (2022). Se determinó que los taludes 3, 9, 11, 15 y 16 son inestables tanto en condiciones estáticas como en condiciones pseudoestáticas, por otro lado los taludes 2, 4, 5, 6, 8, 12, y 13 son inestables solamente en condiciones pseudoestáticas, por lo que, todos los taludes mencionados presentan inestabilidad de acuerdo a las condiciones que se encuentren, concluyendo que mediante el análisis geológico – geotécnico se correlaciona la inestabilidad de los taludes con las zonas de riesgo por deslizamiento.

**Palabras Clave:** Inestabilidad de laderas, factor de seguridad, deslizamientos

## ABSTRACT

The present investigation exposes geological and geotechnical characteristics of slopes in the district of Paccha, province of Chota. As urban development in the Paccha district grows, activities such as deforestation and excavation for road and housing construction have an impact on slope stability. The general objective is to analyse the geological-geotechnical behavior of unstable slopes in the district of Paccha, province of Chota, that is why the geological-geotechnical information was collected, then, with the help of AutoCAD 2023 the geometry of the slopes was drawn, in addition, in RocData V4.0 values of cohesion, friction angle and unit weight were obtained, which entered together with the geometry of the slope to Slide V6.0 we obtain the safety factor. In addition, after mapping the geology, geomorphology and obtaining slope data from a DEM, a landslide hazard map was prepared using the Saaty matrix proposed by Chuquichanca (2022). It was determined that slopes 3, 9, 11, 15 and 16 are unstable in both static and pseudostatic conditions, on the other hand slopes 2, 4, 5, 6, 8, 12, and 13 are unstable only in pseudostatic conditions, therefore, all the mentioned slopes present instability according to the conditions they are found, concluding that through the geological-geotechnical analysis the instability of the slopes is correlated with the landslide hazard zones.

**Key words:** Slope instability, factor of safety, landslides.

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

Basándonos en la premisa de que las laderas tienen origen natural y los taludes de origen antrópico, se observa que conforme el crecimiento urbano del distrito de Paccha avanza, las actividades humanas como la deforestación y la excavación para la construcción de carreteras y viviendas impactan la estabilidad de las laderas. A esto se suman factores como las intensas lluvias estacionales y la probabilidad de sismos, que a menudo desencadenan deslizamientos, ocasionando pérdidas económicas significativas e incluso pérdidas de vidas humanas. Por tanto, surge la pregunta: ¿Cuál es el análisis geológico-geotécnico para determinar laderas inestables en el distrito de Paccha, provincia de Chota? En este sentido, se determina que la inestabilidad de las laderas se evalúa mediante el factor de seguridad de los taludes generados por la expansión urbana. Al analizar este factor bajo condiciones de saturación y sismicidad utilizando el software Slide V-6.0, se confirma la inestabilidad de las laderas. Además, se identifica el riesgo de deslizamientos en laderas, los cuales están influenciados por la geología, geomorfología y pendiente del terreno.

En el distrito de Paccha desde hace 10 años como en la actualidad, ha experimentado numerosos incidentes de deslizamientos en laderas, los cuales han afectado extensas áreas de terreno que son propicias para la expansión urbana. Bajo estas circunstancias, donde la relación entre el hombre y el medio ambiente es crucial, las laderas inestables representan un riesgo geológico potencial para la población. Por consiguiente, surge un interés por estudiar esta área, motivado por la presencia de laderas inestables que afectan directamente a la comunidad. Esta investigación se lleva a cabo con el propósito de identificar las laderas inestables en el distrito de Paccha, con el objetivo de beneficiar a los habitantes, quienes podrán estar informados sobre las zonas de peligro debido a los procesos de remoción en masa, lo que permitirá prevenir la pérdida de propiedades y vidas humanas.

Además, el tipo de investigación es descriptiva, correlacional, documental, de campo y analítica no experimental, deductiva - inductiva. Por lo tanto, la investigación se desarrolló en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota, distrito de Paccha en el año 2022 teniendo una duración de 6 meses.

El objetivo principal de la investigación es analizar el comportamiento Geológico-Geotécnico de las laderas inestables en el distrito de Paccha, además, como objetivos específicos se tienen: Describir la geología y geomorfología de la zona de estudio, realizar la clasificación geomecánica GSI de los macizos rocosos, calcular el factor de seguridad con el software Slide V-6.0, determinar los taludes inestables de acuerdo al análisis de su factor de seguridad, elaborar el mapa de peligro por deslizamientos de acuerdo a las características geomorfológicas y geológicas.

La tesis comprende los siguientes capítulos:

Capítulo I. Comprende la introducción a la investigación, donde se da la ubicación a grandes rasgos de la zona de investigación, se formula el problema, la justificación, el alcance y los objetivos principal y específicos.

Capítulo II. Presenta el desarrollo de los antecedentes y bases teóricas que serán fundamentales para la realización de la investigación.

Capítulo III. En este capítulo se desarrolla la descripción de materiales y métodos, la cual incluye la ubicación de la investigación, geográfica y política, accesibilidad, clima, vegetación, hidrología, geomorfología. De igual forma, describe procedimientos de la investigación: Metodología a emplear, definición de variables, técnicas e instrumentos, equipos empleados.

Capítulo IV. Abarca la descripción y discusión de resultados, la contrastación de hipótesis y la determinación de la veracidad de la misma.

Capítulo V. En este capítulo se presenta las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Oliva et al. (2019), en su investigación: “Inestabilidad del terreno en el área metropolitana de Tijuana: Análisis de una falla en la vía de acceso a un parque industrial” a través del uso del software Slide V-6.0, determinan que el factor de seguridad mínimo obtenido para el suelo parcialmente saturado indica un estado de equilibrio crítico que podría resultar en la formación de fisuras. Esto, a su vez, podría provocar el colapso del terreno y, por ende, hundimientos. Además, para evaluar cómo la presencia de agua podría influir en la estabilidad del talud, calcularon los factores de seguridad para diversas condiciones de saturación.

Zaeia y Sheshagiri (2017), en su estudio “Evaluación del efecto de un fuerte terremoto sobre la inestabilidad de las laderas” investigaron cómo los terremotos de gran magnitud afectan la estabilidad de las laderas en el área alrededor del embalse de Zirdan en Irán. Se llevaron a cabo análisis de pendientes bajo condiciones de saturación y sísmicas. Los resultados del análisis indican que las pendientes alrededor del embalse de la presa Zirdan son estables cuando están secas y no hay cargas sísmicas presentes. Sin embargo, cuando se aplican cargas sísmicas con una aceleración horizontal de 0,19 g, el factor de seguridad disminuye a 1,31, lo que conduce a la inestabilidad de las pendientes debido a la presencia de margas verdes altamente fragmentadas en su litología.

#### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Tirado (2018), en su investigación: “Evaluación del Riesgo Asociado a la Vulnerabilidad Física por Laderas Inestables en el Tramo de la Carretera Cajamarca – Gavilán, 2018” examina el riesgo ligado a la vulnerabilidad física debido a laderas inestables, identificando factores influyentes como la inclinación del terreno, la cobertura vegetal, la geología, y la

precipitación como desencadenante. Los resultados del estudio señalan que la probabilidad de deslizamientos en la zona estudiada es muy alta, ya que el riesgo radica principalmente en una mayor vulnerabilidad, reflejada en la construcción de viviendas por parte de los habitantes del área con materiales de baja calidad y con deficiencias estructurales.

Rottiers y Gairzhiño (2020), en su tesis: “Análisis de la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos, caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco” llegan a la conclusión de que los principales problemas de inestabilidad en las laderas son resultado de diversos factores adversos. Estos incluyen la actividad sísmica en la zona y el aumento del nivel freático, lo que genera una mayor presión en los poros del suelo. Como resultado, se identifica un riesgo medio a alto de movimientos en masa en las áreas de ladera.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Falconí (2017), en su tesis: “Análisis Geotécnico de los Taludes en la Carretera Bambamarca - Paccha entre los Kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca” determina que, a lo largo de la carretera, las condiciones geológicas, tanto internas como externas, influyen en la estabilidad de los taludes. Esto se evidencia mediante la aplicación de la clasificación Rock Mass Rating a los macizos rocosos, lo que resulta en taludes con diferentes niveles de estabilidad. Se observa que los taludes se clasifican como estables con una clasificación de buena (IIA), regular (IIIA, IIIB), y mala (IVA, IVB), siendo predominantes los taludes de mala calidad, específicamente IVA y IVB.

Eugenio (2017), en su tesis: “Análisis de Inestabilidad de Taludes mediante Equilibrio Límite y Elementos Finitos, Tramo Santa Rosa– Tuco Bajo carretera Bambamarca – Centro Poblado Tuco” determina que la inestabilidad de los taludes está influenciada por la composición litológica, la cual, al ser expuesta a la meteorización y erosión por agentes geológicos externos, reduce la calidad de las propiedades geomecánicas y geotécnicas de las rocas y suelos. Asimismo, determina que factores como la porosidad, el alto diaclasamiento y el fallamiento facilitan la infiltración del agua, resultante de la precipitación y la escorrentía superficial, lo que satura e incrementa la presión intersticial en los suelos y rocas. Esto ha llevado a que, debido al aumento del peso de los suelos y rocas, las unidades geomorfológicas críticas para la ubicación del talud, como lomadas, laderas y escarpes, junto

con las ondas sísmicas, incrementen los esfuerzos de corte, lo que resulta en taludes con niveles variables de inestabilidad, desde baja hasta muy alta.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Geología**

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del Universo, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas. La geología además de ciencia meramente descriptiva, es también genética y evolutiva, trata de hallar las causas de los fenómenos que se observan. La geología no es una ciencia puramente teórica y especulativa, por el contrario es una especialidad básica, de gran importancia en el mundo actual para el aprovechamiento racional de los recursos naturales de un país y su aplicación inmediata en otras actividades humanas, este aspecto constituye la Geología Aplicada o Económica y sus principales campos de acción son la localización y explotación de los recursos minerales, petróleo, gas natural, energía geotérmica, aguas termales, geología ambiental que se concentra en las relaciones entre las personas y el medio físico sobre todo en la prevención de riesgos geológicos como remoción de masas, erupciones volcánicas, terremotos que afectan a las poblaciones y actualmente cubriendo los estudios "geológicos" de la Luna y los planetas. Todos estos conocimientos teóricos y prácticos se aplican en los campos de la agricultura, obras e infraestructura civiles, minería, industria de hidrocarburos, aguas subterráneas, etc. (Rivera, 2005)

### **2.2.2. Formaciones Geológicas**

Una formación geológica es el cuerpo de roca cartografiable básico o formal con características físicas similares que lo diferencia suficientemente de las capas de roca adyacentes y ocupa una posición estratigráfica determinada. Además, aparece en todas las columnas estratigráficas, tiene límites, es predominantemente tubular y es trazable lateralmente. Las formaciones ayudan a mapear, subdividir y clasificar las rocas. Para ello, utilizamos las convenciones establecidas por la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS) para la descripción, agrupación y denominación de las unidades litoestratigráficas. (McNair, 2023)

### 2.2.3. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos sedimentarios se forman por la acción de los procesos geomorfológicos y climáticos, resaltando el medio de transporte y la meteorización. En función al medio de sedimentación, los depósitos presentan distintas características geotécnicas se relacionan a las condiciones de formación de los sedimentos que las conforman (González de Vallejo, 2004).

### 2.2.4. Pendiente

La pendiente es el cambio porcentual de esa elevación del terreno a lo largo de una distancia determinada por lo que se mide calculando la diferencia de elevación de un punto a otro dividida por la distancia lateral entre esos puntos (McNair, 2023).

### 2.2.5. Clasificación de Unidades Morfogenéticas

Según lo definido por Rodríguez (2016), se consideran las siguientes unidades morfogenéticas:

**Tabla 1:** Clasificación de unidades morfogenéticas

| <b>Unidad Morfogenética</b> | <b>Definición</b>  |
|-----------------------------|--|
| Planicie                    | Presenta una superficie homogénea, morfología constante, con pendientes que van de 0° a 8°. Usualmente se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas por el relieve que presenta. Se asocia a depósitos aluviales y fluvio-aluviales. |
| Lomada                      | Se visualizan como geformas de tendencia cóncava, con pendientes variables entre los 8° a 20°, poseen baja altura.   |
| Ladera                      | Se definen como geformas con pendientes que van desde los 20° a los 50°, de composición litológica variable. Conforman cadenas montañosas.   |
| Escarpa                     | Geforma que posee una inclinación mayor a 50°, representando un cambio brusco de nivel en el relieve.  |

**Fuente:** Método de investigación geológico – geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo – Corisorgona. (Rodríguez, 2016)

### 2.2.6. Suelos en Ingeniería Geológica

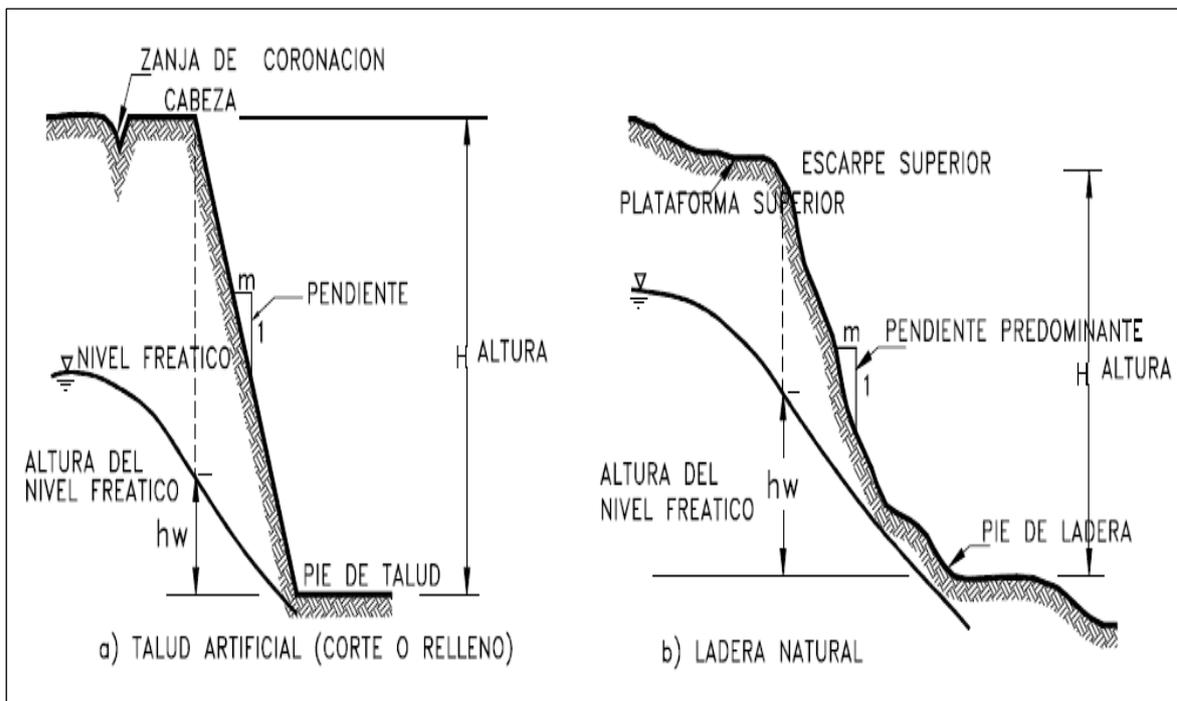
Los suelos, según su acepción en ingeniería geológica, son agregados naturales de granos minerales unidos por fuerzas de contactos normales y tangenciales a las superficies de las partículas adyacentes, separables por medios mecánicos de poca energía o por agitación de agua. (Rivera, 2005)

### 2.2.7. Peligro por Deslizamientos

El peligro es la posibilidad de que un deslizamiento, potencialmente dañino se presente en un lugar específico, los fenómenos naturales causantes de peligros pueden ser monitoreados a través de sus características como: la intensidad, el periodo de duración y la frecuencia; si no hay un medio o componente expuesto como viviendas, áreas de cultivo, metrópolis, vías o áreas naturales; el peligro es irrelevante. (Chávez, 2021)

### 2.2.8. Nomenclatura de Ladera y Talud

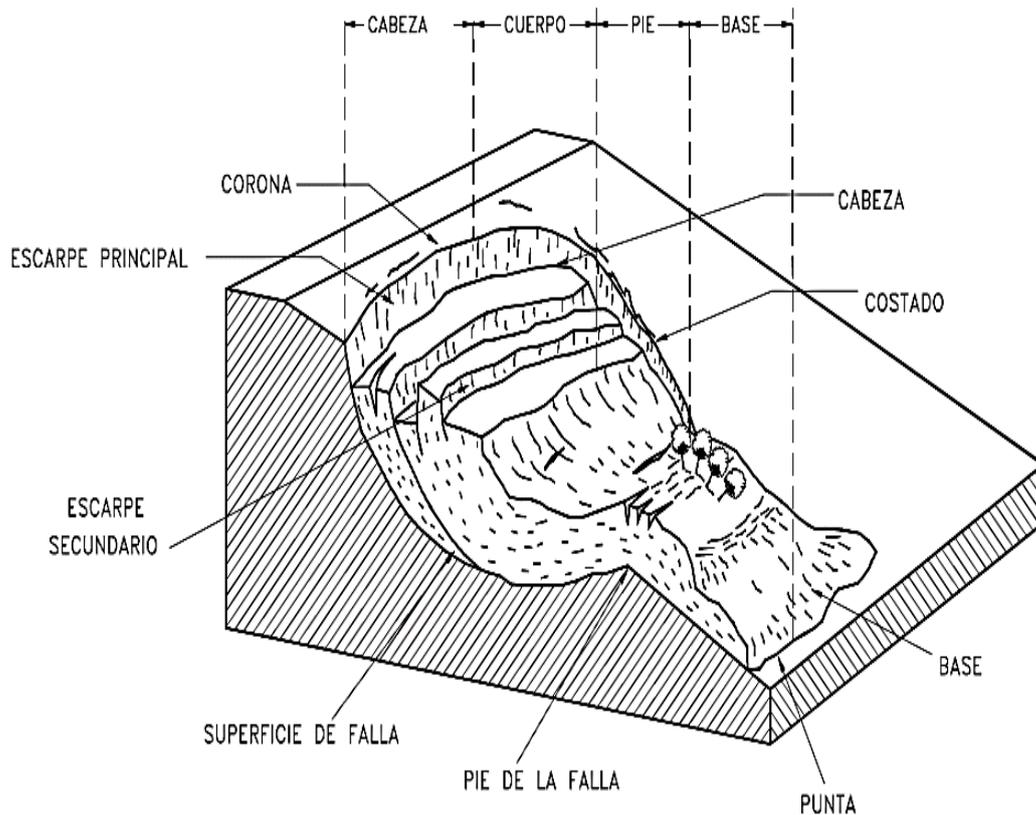
Un talud o ladera se refiere a una superficie de tierra que no es plana, sino que presenta inclinaciones o variaciones significativas en su altura. En la literatura especializada, se distingue entre ladera, cuando su formación se debe a procesos naturales, y talud, cuando ha sido conformada de manera artificial (Figura 1). (Suárez, 1998, pág. 1)



**Figura 1:** Nomenclatura de Taludes y Laderas  
**Fuente:** (Suárez, 1998)

### 2.2.9. Inestabilidad de Laderas

Existen diferentes términos para la inestabilidad de laderas, y conceptos como proceso de remoción de masa, movimientos de ladera, procesos gravitacionales y movimiento del suelo (Fig. 2) se utilizan ampliamente para representar la inestabilidad de laderas. (Alcántara et al., 2001)

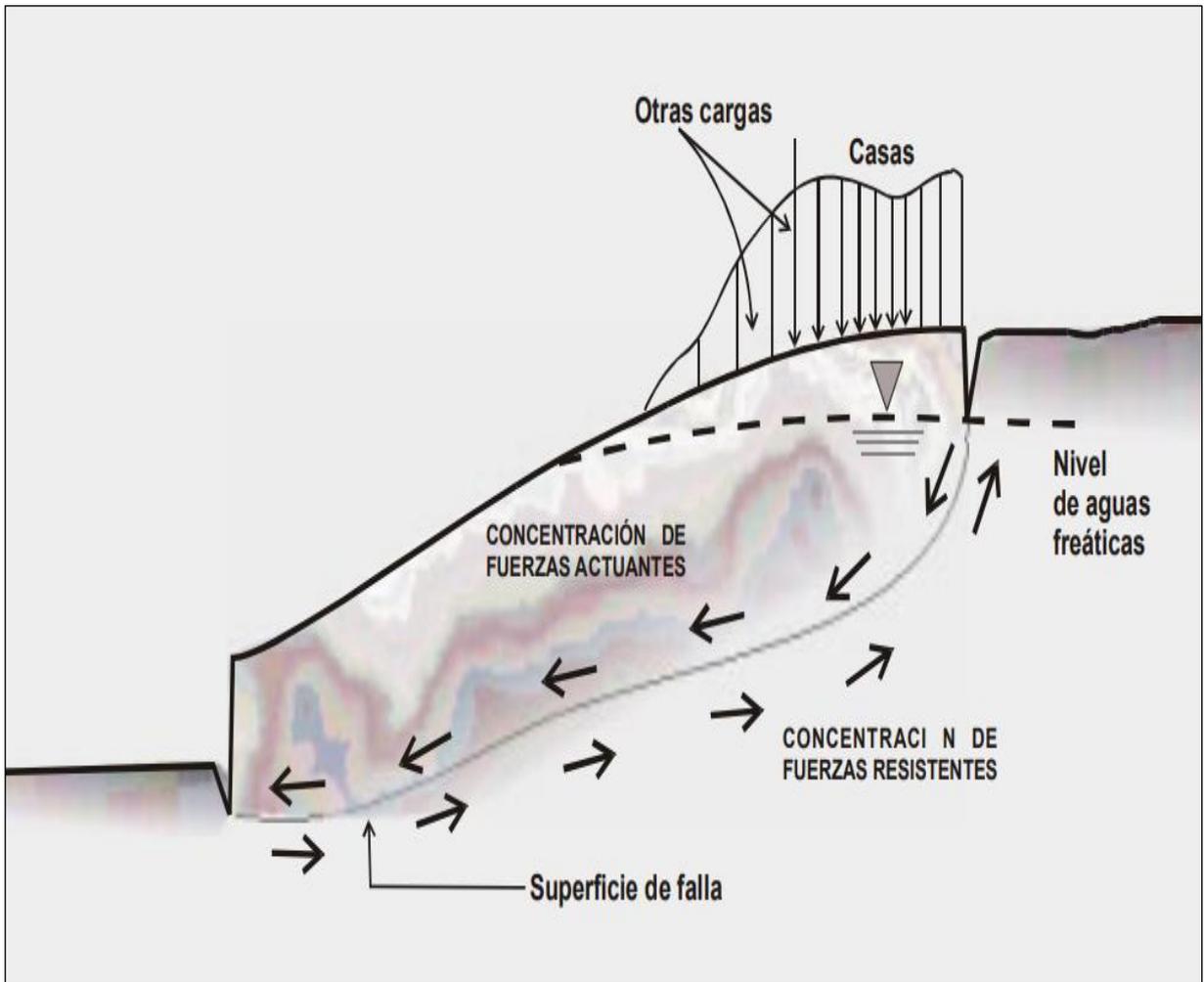


**Figura 2:** Nomenclatura de un Deslizamiento

**Fuente:** (Suárez, 1998, pág. 3)

### 2.2.10. Factores que determinan la Inestabilidad de Laderas

Los fenómenos que generan la inestabilidad de laderas se dividen en dos categorías: externos e internos (Figura 2). Los factores externos provocan un aumento en los esfuerzos o acciones presentes en una ladera, lo que resulta en una mayor concentración de las fuerzas impulsoras o activas. Por otro lado, los factores internos disminuyen la resistencia de los materiales, lo que significa una reducción en la concentración de las fuerzas de resistencia (Alcántara et al., 2001).



**Figura 3:** Esquema de Factores de Inestabilidad  
**Fuente:** (Alcántara et al. 2001)

### 2.2.11. Tipos de Movimiento de Laderas

Las categorizaciones de los deslizamientos de ladera suelen basarse en los tipos de materiales implicados, típicamente distinguiendo entre rocas, escombros y suelos, así como en el mecanismo y tipo de fractura, teniendo en cuenta otros factores como la humedad del terreno y la velocidad y magnitud del movimiento. La Tabla 2 presenta una clasificación simplificada de los diversos tipos de deslizamientos de ladera, según los mecanismos de rotura y el tipo de material (Gonzales et al., 2004).

**Tabla 2:** Clasificación general de los movimientos de ladera

| <b>Tipos de movimientos de ladera</b>                                   |  |
|---|--|
| <p>Deslizamientos rotacionales</p> <p>Deslizamientos traslacionales</p> | <p>Suelos                      Rocas</p> <p>Suelos                      Rocas</p>                            |
| <p>Flujos</p>   | <p>Suelos                      Derrubios                      Bloques rocosos</p>                            |
| <p>Desprendimientos</p> <p>Vuelcos</p>                                  | <p>Rocas                      Rocas                      Suelos</p> <p>Rocas                      Suelos</p> |
| <p>Avalanchas</p>   | <p>Rocas                      Derrubios</p>  |
| <p>Desplazamientos laterales</p>  | <p>Suelos                      Bloques rocosos</p>   |

**Fuente:** (Gonzales et al. 2004)

### **2.2.12. Clasificaciones Geomecánicas de los Macizos Rocosos**

De acuerdo con Ramírez y Alejano (2004), los sistemas de evaluación de macizos rocosos determinan de manera cuantitativa su calidad. Existen clasificaciones geomecánicas como: Clasificación de Bienawski de 1989 (RMR), el índice Q de Barton, el Índice de Designación de Calidad de Roca (RQD) y el Índice de Resistencia Geológica (GSI). Para fines prácticos en la investigación se utilizará solamente la clasificación GSI.

#### **2.2.12.1. La Clasificación GSI (Geological Strength Index)**

Según Ramírez y Alejano (2004), con la introducción del criterio de rotura de Hoek y Brown, el uso del RMR ya no es apropiado, especialmente para rocas débiles, dando paso a la clasificación geomecánica GSI. El GSI es un método para estimar las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas en el campo.

Estas observaciones consideran la estructura del macizo, incluyendo el grado de alteración de las rocas, la unión entre ellas definida por sus formas y aristas, y su cohesión.

Respecto a las condiciones de la superficie, se evalúa si está alterada, erosionada o qué textura tiene, y el tipo de recubrimiento presente. Después de realizar estas observaciones, se selecciona en la Tabla 2 la situación que mejor represente al macizo estudiado, lo que proporciona el valor del GSI.

Los valores del GSI, como se muestra en la Tabla 2, van desde 1 hasta 100. Valores cercanos a 1 indican macizos de baja calidad, con superficies muy erosionadas, arcilla blanda en las juntas y una estructura poco resistente debido a la fragmentación pronunciada. En contraste, valores cercanos a 100 señalan macizos de alta calidad, con una estructura marcada por una fragmentación mínima, predominio de formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión. La Tabla 3 presenta la clasificación de la calidad de la roca según los valores del GSI.

**Tabla 3:** Valores para el GSI

| ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO  |   | CONDICIONES DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES                       |       |       |      |          |     |
|---|---|---|-------|-------|------|----------|-----|
|   |   | MUY BUENA   | BUENA | MEDIA | MALA | MUY MALA |     |
|   |   | CALIDAD DECRECIENTE DE LOS LABIOS DE LAS DISCONTINUIDADES $\Rightarrow$ |       |       |      |          |     |
|    | <b>INTACTO O MASIVO</b><br>Muestras intactas de roca o macizos rocosos masivos con pocas discontinuidades muy espaciadas.   | ENCAJE DECRECIENTE ENTRE LOS TROZOS DE ROCA<br>$\Downarrow$             | 90    |       |      | N/A      | N/A |
|    | <b>FORMADO POR BLOQUES</b><br>Macizo rocoso consistente en bloques cúbicos delimitados por tres familias de discontinuidades, con los bloques bien encajados.   |   | 80    | 70    |      |          |     |
|   | <b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES</b><br>Macizo rocoso formado por bloques angulares de muchas caras delimitados por cuatro o más familias de discontinuidades. Los bloques están encajados, pero sólo parcialmente.                    |   | 60    | 50    |      |          |     |
|  | <b>FORMADO POR MUCHOS BLOQUES, DISTORSIONADO Y BANDEADO</b><br>Plegado con muchos bloques angulares formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Planos de estratificación o de esquistosidad persistentes. |   | 40    | 30    |      |          |     |
|  | <b>DESINTEGRADO</b><br>Macizo rocoso muy fracturado con una mezcla de bloques angulares y redondeados débilmente encajados.   |   | 20    |       |      |          |     |
|  | <b>LAMINADO / CIZALLADO</b><br>Ausencia de blocosidad debido a la estrecha separación de esquistosidades débiles o planos de cizalla.   |   | N/A   | N/A   |      |          |     |

Fuente: (Hoek, Carranza, y Corkum, 2002)

**Tabla 4:** Clasificación de la calidad de roca de acuerdo al GSI

| Valor del GSI                    | 76-95     | 56-75 | 36-55 | 21-35 | <20      |
|----------------------------------|-----------|-------|-------|-------|----------|
| <b>Calidad del macizo rocoso</b> | Muy buena | Buena | Media | Mala  | Muy Mala |

Fuente: (Deb y Kumar, 2016)

### 2.2.13. Criterio de Rotura de Hoek - Brown

En las fases iniciales, el criterio se aplicaba únicamente a rocas intactas, lo que resultaba ineficaz para su uso en macizos rocosos, lo que generó dificultades, como su aplicación en macizos de baja calidad. Debido a esto, los autores realizaron actualizaciones periódicas para abordar estos problemas, siendo la versión más reciente la de Hoek et al. (2002). A continuación, se presenta la propuesta más reciente del criterio de rotura:

La formulación generalizada del criterio de rotura de Hoek-Brown (Hoek et al. 2002) se presenta de la siguiente manera:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \dots \dots \dots (1)$$

Donde “mb” es un valor deducido de la constante del material "mi", según la siguiente expresión:

$$mb = mi \cdot \exp \left( \frac{GSI-100}{28-14D} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Las constantes "s" y "a" son constantes del macizo rocoso y se definen mediante las siguientes expresiones:

$$s = \exp \left( \frac{GSI-100}{28-3D} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right) \dots \dots \dots (4)$$

El factor "D" está asociado al nivel de perturbación experimentado por el macizo rocoso, el cual se deriva de los daños ocasionados por la voladura y la relajación de tensiones. Este parámetro puede oscilar entre 0, indicando un macizo rocoso inalterado, hasta 1, representando un macizo altamente perturbado, según lo señalado por Hoek et al. (2002).

La resistencia a compresión simple del macizo rocoso propiamente dicho se podrá obtener Haciendo  $\sigma'_3 = 0$ , en la ecuación 1, lo que da:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \dots \dots \dots (5)$$

Y recomiendan calcular la resistencia a tracción biaxial del macizo como:

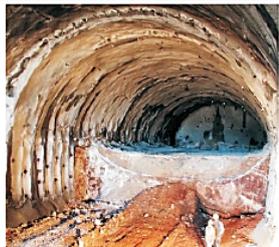
$$\sigma_t = -\frac{s \cdot \sigma_{ci}}{m_b} \dots \dots \dots (6)$$

Que proviene de hacer  $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma_t$  en la ecuación 1.

El parámetro D, conocido como grado de alteración o Factor de Disturbio, influye en la resistencia del macizo rocoso y puede ser estimado siguiendo las pautas de Hoek et al. (2002)

a través de la Tabla 4, que se ha desarrollado a partir de la experiencia acumulada en el diseño de túneles y taludes por diversos expertos. Sin embargo, los autores señalan que la determinación exacta de  $D$  puede ser difícil debido a la influencia de múltiples factores, por lo que los valores proporcionados en la tabla son aproximados y cada caso particular debe ser analizado detenidamente. (Ramírez y Alejano, 2004)

**Tabla 5:** Guías para estimar el factor de alteración  $D$

| Apariencia del macizo rocoso  | Descripción del macizo rocoso  | Valor $D$ sugerido  |
|---|--|---|
|    | <p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>   | <p><math>D = 0</math></p>   |
|   | <p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>  | <p><math>D = 0</math></p> <p><math>D = 0.5</math><br/>No invert</p>                                       |
|  | <p>Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>   | <p><math>D = 0.8</math></p>   |
|  | <p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>   | <p><math>D = 0.7</math><br/>Good blasting</p> <p><math>D = 1.0</math><br/>Poor blasting</p>               |
|  | <p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p> | <p><math>D = 1.0</math><br/>Production blasting</p> <p><math>D = 0.7</math><br/>Mechanical excavation</p> |

**Fuente:** (Hoek et al. 2002)

### 2.2.14. Criterio de Rotura de Mohr-Coulomb

El principio de rotura de Mohr-Coulomb, presentado por primera vez por Coulomb en 1773 con el propósito original de aplicarse en suelos, constituye un criterio de rotura lineal. En otras palabras, la ecuación que describe la superficie de fluencia es lineal, como se mencionó previamente. A pesar de que el comportamiento de la roca en un ensayo triaxial no se ajusta a un modelo lineal, el criterio de Mohr-Coulomb sigue siendo ampliamente utilizado debido a su simplicidad y conveniencia.

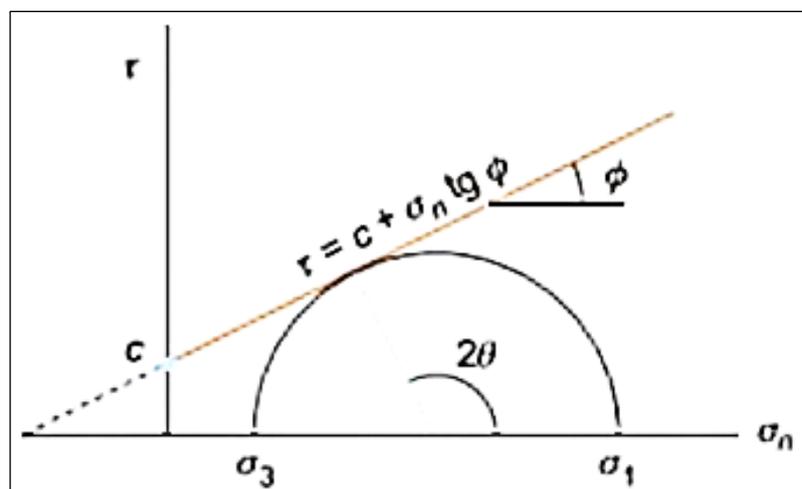
Usualmente, en el contexto del criterio de Mohr-Coulomb, se establece el criterio de rotura considerando la relación entre la tensión tangencial y la tensión normal. En esta situación, la superficie de fluencia adopta una forma específica, representada  $\tau = f(\sigma)$ . La ecuación matemática que describe esta superficie es la siguiente:

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

Donde:

- $c$  es la cohesión, una constante que representa la tensión cortante que puede ser resistida sin que haya ninguna tensión normal aplicada.
- $\phi$  representa el ángulo de fricción.
- $\tau$  se refiere a la tensión tangencial actuando en el plano de rotura.
- $\sigma_n$  indica la tensión normal actuando en el plano de rotura.

A continuación (Figura 4), se representa el criterio de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial. Se puede apreciar que la ecuación de la superficie de rotura es la ecuación de la recta tangente a todos los círculos de falla.



**Figura 4:** Envoltentes de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales y normales

### 2.2.15. Obtención de la Envolvente de Rotura de Mohr-Coulomb a partir de la Envolvente de Hoek - Brown

Cuando se evalúa la estabilidad de un talud rocoso, suele ser común linealizar el criterio de rotura propuesto por Hoek y Brown para obtener una representación equivalente en la envolvente de rotura de Mohr-Coulomb. A continuación, se detalla el método más convencional de linealización del criterio de rotura de Hoek y Brown.

#### 2.2.15.1. Método de la Equivalencia de Áreas

El método de la equivalencia de áreas implica ajustar una línea recta de modo que equilibre las áreas entre la curva de Hoek y Brown y la linealización de Mohr-Coulomb, dentro de un rango específico de tensiones, donde  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{m\acute{a}x}$  (Figura 5). Donde,  $\sigma_t$  representa la resistencia a la tracción y  $\sigma_{m\acute{a}x}$  es la máxima tensión de confinamiento anticipada, la cual debe ser determinada en cada caso y ejerce una gran influencia en los resultados obtenidos. Este método será empleado en este estudio, ya que es el enfoque adoptado por el programa RocLab (Hoek et al. 2002).

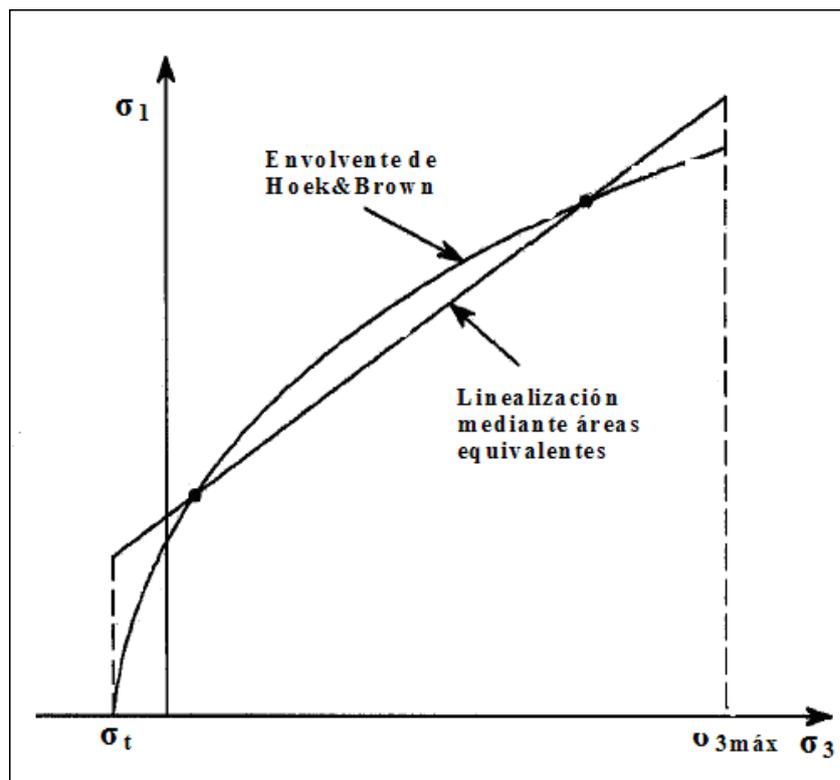


Figura 5: Representación gráfica de linealización

$\sigma_1$  y  $\sigma_3$  son las tensiones principales mayor y menor;  $\sigma_t$  resistencia a tracción;  $\sigma_{3m\acute{a}x}$  es el valor máximo esperado de la tensión de confinamiento, que tendrá que ser estimado en cada caso.

## **2.2.16. Métodos de Análisis de Estabilidad**

### **2.2.16.1. Equilibrio Límite y Factor de Seguridad**

Según Suárez (1998), durante muchos años, el análisis de los movimientos de taludes o laderas ha sido llevado a cabo utilizando técnicas de equilibrio límite. Este tipo de análisis requiere datos sobre la resistencia del suelo, pero no exige información sobre la relación entre esfuerzo y deformación. El enfoque de equilibrio límite supone que, en caso de una falla, las fuerzas actuantes y las resistivas son iguales a lo largo de la superficie de falla, con un factor de seguridad de 1.0. El análisis puede realizarse examinando directamente toda la longitud de la superficie de falla, o dividiendo la masa que se desliza en segmentos o bloques. Con el tiempo, los sistemas de bloques desarrollados a principios del siglo XX han sido mejorados, y hoy en día existen softwares muy accesibles. Por lo general, estos métodos son iterativos, y cada uno tiene un cierto grado de precisión.

### **2.2.16.2. Método de Spencer**

Este enfoque es válido para cualquier tipo de superficie de falla y tiene en cuenta tanto los momentos como las fuerzas involucradas. Se basa en la premisa de que la inclinación de las fuerzas laterales es uniforme para cada segmento. Cumple rigurosamente con el principio de equilibrio estático, asumiendo que la fuerza resultante entre segmentos tiene una inclinación constante pero no conocida.

### **2.2.16.3. Factor de Seguridad**

Los ingenieros utilizan el Factor de Seguridad para determinar el nivel de riesgo de que ocurra un colapso en un talud bajo las condiciones más desfavorables para las cuales se ha diseñado. Este factor se define como la relación entre la resistencia real al corte del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que podrían inducir una falla a lo largo de una superficie hipotética de posible deslizamiento:

$$\text{F.S.} = \text{Resistencia al corte/Esfuerzo al cortante} \dots\dots\dots (7)$$

Cuando se tiene superficies con centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

$$\text{F.S.} = \text{Momento resistente/Momento actuante} \dots\dots\dots (8)$$

Además, existen otros enfoques para determinar el Factor de Seguridad, por ejemplo, mediante la relación entre la altura crítica y la altura real del talud, o a través de métodos probabilísticos. La mayoría de los métodos de análisis se basan en el principio de "equilibrio

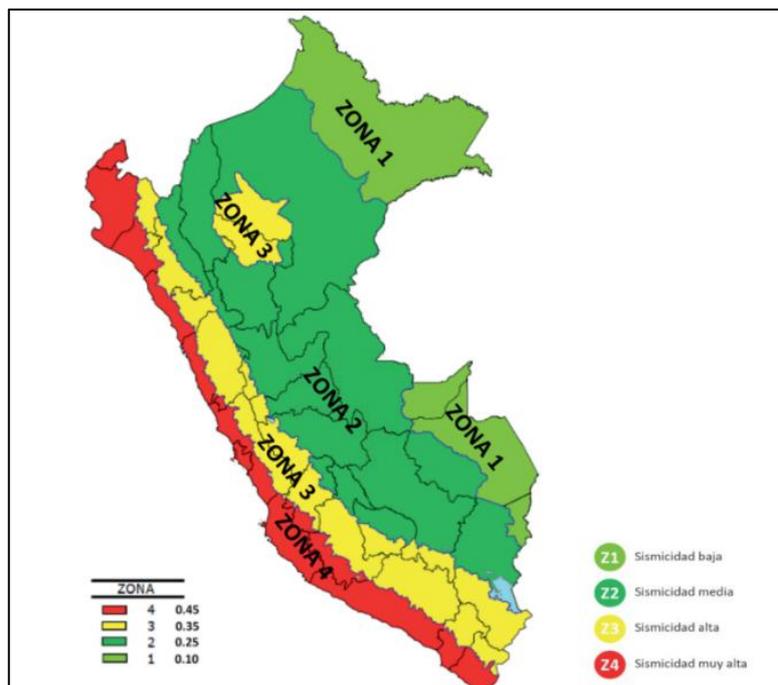
límite", donde se cumple el criterio de falla de Coulomb a lo largo de una superficie determinada. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la disponible del suelo o roca y se obtiene una indicación del Factor de Seguridad.

Otro criterio es el de dividir la masa a estudiar en una serie de tajadas, dovelas o bloques y considerar el equilibrio de cada tajada por separado. Una vez realizado el análisis de cada tajada se analizan las condiciones de equilibrio de la sumatoria de fuerzas o de momentos.

$$F.S. = \Sigma \text{Resistencias al corte} / \Sigma \text{Esfuerzos al cortante} \dots\dots (9)$$

### 2.2.17. Susceptibilidad Sísmica

La probabilidad de ocurrencia de un sismo en el territorio nacional está dividida en cuatro zonas, como se muestra en la Figura 6.



**Figura 6:** Susceptibilidad sísmica del territorio peruano

**Fuente:** (D.S. N° 003-2016-Ministerio de Vivienda, 2016)

La zonificación propuesta se fundamenta en la distribución geográfica de la actividad sísmica registrada, las características generales de los movimientos telúricos y su disminución con la distancia al epicentro, así como en datos neotectónicos. A cada región se le asigna un factor Z, según se detalla en la Tabla 5. Basándose en la ubicación en el mapa

de la Figura 6, se determina que la zona de estudio se sitúa en la zona 2 el cual tiene un factor sísmico de 0.25.

**Tabla 6:** Factor de susceptibilidad sísmica por zonas

| <b>FACTORES DE ZONA “Z”</b> |          |
|-----------------------------|----------|
| <b>ZONA</b>                 | <b>Z</b> |
| 4                           | 0.45     |
| 3                           | 0.35     |
| 2                           | 0.25     |
| 1                           | 0.10     |

**Fuente:** (D.S. N° 003-2016-Vivienda, 2016)

### **2.2.18. Análisis Sísmico de Taludes**

La predicción de deslizamientos producidos por sismos o análisis de estabilidad sísmica puede clasificarse en varios sistemas:

#### **2.2.18.1. Análisis Pseudoestático**

El método sigue el mismo procedimiento general que otros métodos de equilibrio límite, pero incorpora fuerzas pseudoestáticas horizontales y verticales originados por el evento sísmico. Estas fuerzas se asumen proporcionales al peso de la posible masa deslizante y a los coeficientes sísmicos horizontal ( $k_h$ ) y vertical ( $k_v$ ), expresados en términos de la aceleración ( $g$ ) causada por el sismo.

Normalmente, se sugiere que solo se analice la superficie más crítica con carga sísmica pseudoestática, identificada en el análisis estático. En la mayoría de los casos, se considera únicamente la fuerza sísmica horizontal, mientras que  $k_v$  se supone igual a cero.

La magnitud del coeficiente sísmico debe reflejar la naturaleza de la fuerza del evento, que depende de la intensidad o aceleración del sismo, la duración del movimiento y la frecuencia.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Macizo Rocoso.** El concepto de "macizo rocoso" describe un conjunto de una o varias variedades de rocas, que están intersectadas por planos de discontinuidad y en los cuales se emplaza la obra de ingeniería o la mina. (Gonzales de Vallejo et. al , 2002)

**Suelo.** Cobertura superficial de la corteza terrestre que surge como resultado de la alteración de los minerales de las rocas preexistentes. La formación del suelo implica el proceso de meteorización química de los minerales primarios, lo que conduce a la creación de nuevos minerales. (Dávila , 2011)

**Precipitación.** Se refiere al agua en forma líquida o congelada que se origina en la atmósfera y cae sobre la superficie terrestre. Este fenómeno constituye uno de los tres componentes fundamentales del ciclo hidrológico global. (National Geographic, 2022)

**Cohesión.** Es la adherencia entre los fragmentos, partículas o granos de las rocas es el resultado de la interacción mutua entre ellos, facilitada por la presencia de una matriz cementante. (Dávila , 2011)

**Ángulo de Fricción.** La resistencia al deslizamiento, originada por la fricción entre las superficies de contacto de las partículas y su densidad, fue inicialmente descrita por Amonton G. en 1699 (Lambe y Whitman, 2004).

**Estabilidad.** Estado y condición de una estructura o de una masa de material cuando puede soportar los esfuerzos aplicados durante largo tiempo sin sufrir una deformación o movimiento apreciable que no se recupere o devuelva al retirar la carga (Hoyos , 2001)

**Factor de Seguridad.** El factor de seguridad (FS) se define como el parámetro que representa la disparidad entre las condiciones actuales del talud y aquellas que conducen a su colapso. Se calcula como el coeficiente más pequeño entre todos los coeficientes de seguridad relacionados con cada una de las posibles superficies de deslizamiento.

**Inestabilidad.** Se emplea esta expresión para describir el tipo de terreno donde la posibilidad de que ocurran movimientos de masa donde erosión lineal es intensa situándose entre alta y muy alta. Esto se refiere a terrenos con factores de seguridad inferiores a 1.5, según lo señalado por Suárez (1989).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. Política

La zona de investigación se encuentra ubicada políticamente en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Chota, Distrito de Paccha tal como se muestra en el Anexo B (M-01).

#### 3.1.2. Geográfica

Geográficamente se encuentra en la Cordillera Occidental del Norte Peruano como lo podemos observar en la Figura 7, delimitado por los siguientes vértices principales (Figura 7, Tabla 7) con coordenadas UTM: DATUM WGS84, Zona 17S.

**Tabla 7:** Vértices del área de investigación

| Vértice | Norte   | Este   |
|---------|---------|--------|
| 1       | 9282679 | 783759 |
| 2       | 9282457 | 791320 |
| 3       | 9271961 | 794326 |
| 4       | 9270259 | 786065 |

#### 3.1.3. Accesibilidad

Para acceder a la zona de investigación se toma la ruta PE-3N desde el departamento de Cajamarca al distrito de Bambamarca, posteriormente se dirige a la progresiva CA-107 rumbo al distrito de Paccha ya sea en movilidad personal o particular. Los tramos y distancia a recorrer se presentan en la Tabla 8, además podemos ver la vía de acceso en la Figura 7.

**Tabla 8:** Datos de accesibilidad

| Origen / Destino       | Distancia (Km.) | Velocidad (Km./h) | Tiempo (Horas) |
|------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Cajamarca - Bambamarca | 114             | 40.00             | 3.00           |
| Bambamarca - Paccha    | 31.5            | 20.00             | 1.2            |
| <b>Total</b>           | <b>144</b>      |                   | <b>4.2</b>     |



**Figura 7:** Rutas de accesibilidad al distrito de Paccha

**Fuente:** Tomado de Google Maps (2024)

## 3.2. CLIMA Y VEGETACIÓN

### 3.2.1. Clima

El clima de la zona de estudio es semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Este tipo de región registra temperaturas máximas en promedio de 21°C a 25°C y temperaturas mínimas de 7°C a 11°C. Los acumulados anuales de lluvias en estas zonas pueden alcanzar valores desde los 700 mm hasta los 2000 mm aproximadamente. (SENAMHI, 2020)

#### 3.2.1.1. Precipitación

Para los propósitos de este estudio, se toma en cuenta el sistema hidrológico del Río Laucano como la cuenca de origen, que está cerca de la estación pluviométrica Bambamarca, perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, (SENHAMI) - Perú. Los principales parámetros de la cuenca del Río Llaucano fueron tomados de la investigación de Terán (2021) y se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 9:** Parámetros de la cuenca del Río Llaucano

|                                     | <b>Unidad</b>   | <b>Valor</b> |       |
|-------------------------------------|-----------------|--------------|-------|
| <b>Parámetros Geométricos</b>       |                 |              |       |
| Área de la cuenca                   | Km <sup>2</sup> | 608.69       |       |
| Perímetro de la cuenca              | Km              | 163.93       |       |
| <b>Parámetros Morfológicos</b>      |                 |              |       |
| Coeficiente o índice de compacidad  | Adimensional    | 1.86         |       |
| Factor de forma                     | Adimensional    | 0.34         |       |
| Ancho promedio                      | Km              | 14.47        |       |
| <b>Parámetros de relieve</b>        |                 |              |       |
| Altitud media                       | m               | 3497.32      |       |
| Altitud más frecuente               | msnm            | 3801 - 3900  |       |
| Pendiente de la cuenca              | %               | 28.21        |       |
| <b>Parámetros de la red hídrica</b> |                 |              |       |
| Longitud del cauce principal        | Km              | 42.06        |       |
| Pendiente del cauce principal       | %               | 2.37         |       |
| <b>Parámetros generados</b>         |                 |              |       |
| Relación de longitudes              | Adimensional    | 0.86         |       |
| Densidad de drenaje                 | Adimensional    | 0.59         |       |
| Frecuencia de ríos                  | Adimensional    | 0.31         |       |
| Tiempo de concentración             | Horas           | 4.98         |       |
| Coeficiente orográfico              | Adimensional    | 0.02         |       |
| Rectángulo equivalente              | a               | m            | 8.28  |
|                                     | b               | m            | 73.71 |
| Relación de confluencias            | Adimensional    | 1.97         |       |
| Coeficiente de masividad            | Adimensional    | 0.00         |       |

Según la metodología propuesta por Rodríguez (2016), primero obtenemos el Factor de Transposición usando los siguientes datos:

**H** = Altitud media de la cuenca a transponer = 3497.32 msnm

**H1** = Altitud de la estación de origen = 2536 msnm

**Factor de transposición (Ft)** =  $H/H1 = 3497.32 / 2536 = 1.37$

Luego, este factor multiplica a cada valor de precipitación de la Estación Bambamarca para los años 2017 - 2023, obteniendo los valores de precipitación para la zona de estudio siguiendo la ecuación:

$$PP = H/H1 * PP1$$

Donde:

**PP** = Precipitación a la Altitud H

**PP1** = Precipitación a la Altitud H1

**H** = Altitud Media de la Cuenca o la Zona a Trasponer

**H1** = Altitud de la Estación de Origen

**Tabla 10:** Precipitación a la altitud media de la cuenca de 3497.32 msnm (PP)

| <b>Precipitación Máxima 24 horas</b> |                             |           |  |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|--|
| <b>Año</b>                           | <b>Precipitación máxima</b> | <b>Ft</b> | <b>Precipitación a la altura 3497.32 m</b> |
| 2017                                 | 56.5                        | 1.37      | 77.41                                      |
| 2018                                 | 22.4                        | 1.37      | 30.69                                      |
| 2019                                 | 33.8                        | 1.37      | 46.31                                      |
| 2020                                 | 63.2                        | 1.37      | 86.58                                      |
| 2021                                 | 29.7                        | 1.37      | 40.69                                      |
| 2022                                 | 42.6                        | 1.37      | 58.36                                      |
| 2023                                 | 49.3                        | 1.37      | 67.54                                      |



**Figura 8:** Precipitación max (mm) a la altura 3497.32 msnm (PP)

### **3.2.1.2. Esguurrimiento e Infiltración**

Según Rodríguez (2016), la infiltración es la variable externa más importante que afecta los parámetros geomecánicos, como la resistencia de suelos y rocas, estos son la cohesión y el ángulo de fricción interna; así cuando el agua ingresa por la porosidad primaria y secundaria, afecta la resistencia de los materiales y es probablemente la responsable de los eventos geodinámicos.

Teniendo en consideración, los valores de precipitación obtenidos se tomarán como base para la determinación de los parámetros de infiltración (F), precipitación total (PP), precipitación efectiva o esguurrimiento (Pe) y los volúmenes de infiltración (VF).

Las mayores precipitaciones en la zona se presentaron en los años 2017 y 2020 con valores entre 56.5 y 86.58 mm. Teniendo en consideración el tipo de suelo limo arcilloso, se considera un coeficiente de esguurrimiento  $C = 0.82$ , valor aceptado por Rodríguez (2016) por lo tanto, el Coeficiente de Infiltración ( $C_i$ ) es:  $C_i = 1 - C = 0.18$ .

El balance hidrológico se realizó de acuerdo al procedimiento de cálculo de Rodríguez (2016) (ver Tabla 11). De ello se obtiene que el volumen de infiltración (VF) en toda la unidad hidrográfica es de 688.45 MMC (100% del VF), y la infiltración en la zona de investigación es de 111.01 MMC, que representa el 16.12 % del total del volumen de infiltración.

**Tabla 11:** Balance Hidrológico

| <b>BALANCE HIDROLÓGICO</b>             |                                 |                             |                              |  |                         |                         |                                     |                                    |                                       |
|--|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
|  |                                 | 1                           | 2                            | 3=1*2  | 4=1-3 en mm             | 5=4/1000 en m           | 6=5*Auh en m <sup>3</sup>           | 7=6/1000000 en MMC                 | 8=(7/688.45)*100                      |
| <b>CICLOS DE PRECIPITACIÓN EN AÑOS</b> | <b>NÚMERO DE AÑOS POR CICLO</b> | <b>PP</b>                   | <b>C</b>                     | <b>Pe</b>                                    | <b>F</b>                | <b>F</b>                | <b>VF</b>                           | <b>VF</b>                          | <b>%</b>                              |
|  |                                 |                             | $C = Pe / PP$                | $Pe = C * PP$                                | $F = PP - Pe$           | $F = PP - Pe$           | $VF = F * Auh$                      | $VF = F * Auh$                     | <b>%</b>                              |
|  |                                 | <b>mm</b>                   |                              | <b>mm</b>                                    | <b>mm</b>               | <b>m</b>                | <b>m3</b>                           | <b>MMC</b>                         | <b>%</b>                              |
|  |                                 | <b>PRECIPIT. TOTAL (PP)</b> | <b>COEF. ESCORRENTÍA (C)</b> | <b>PRECIP. EFECTIVA O ESCURRIMIENTO (Pe)</b> | <b>INFILTRACIÓN (F)</b> | <b>INFILTRACIÓN (F)</b> | <b>VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (VF)</b> | <b>VOLUMEN DE INFILTRACIÓN (F)</b> | <b>%PARCIAL DE LA PRECIPIT. TOTAL</b> |
| 2017-2018                              | 1                               | 793.50                      | 0.82                         | 650.67                                       | 142.83                  | 0.14                    | 86939192.70                         | 86.94                              | 12.63                                 |
| 2018-2019                              | 1                               | 811.90                      | 0.82                         | 665.76                                       | 146.14                  | 0.15                    | 88955173.98                         | 88.96                              | 12.92                                 |
| 2019-2020                              | 1                               | 646.00                      | 0.82                         | 529.72                                       | 116.28                  | 0.12                    | 70778473.20                         | 70.78                              | 10.28                                 |
| 2020-2021                              | 1                               | 791.90                      | 0.82                         | 649.36                                       | 142.54                  | 0.14                    | 86763889.98                         | 86.76                              | 12.60                                 |
| 2021-2022                              | 1                               | 1134.90                     | 0.82                         | 930.62                                       | 204.28                  | 0.20                    | 124344410.58                        | 124.34                             | 18.06                                 |
| 2022-2023                              | 1                               | 1043.60                     | 0.82                         | 855.75                                       | 187.85                  | 0.19                    | 114341199.12                        | 114.34                             | 16.61                                 |
| 2023-2024                              | 1                               | 1061.70                     | 0.82                         | 870.59                                       | 191.11                  | 0.19                    | 116324311.14                        | 116.32                             | 16.90                                 |
|  | 7                               | 6283.50                     | 0.82                         | 5152.47                                      | 1131.03                 | 1.13                    | 688446650.70                        | 688.45                             | 100.00                                |
|  |                                 |                             |                              |  |                         |                         |                                     |                                    |                                       |
|  | Auh (km2)                       | 608.69                      |                              |  |                         |                         |                                     | 688.45                             | 100.00                                |
|  | Auh (m2)                        | 608690000.00                |                              |  |                         |                         |                                     |                                    |                                       |
|  | Ainvest. (km2)                  | 98.15                       |                              |  |                         |                         |                                     |                                    |                                       |
|  | Ainvest. (m2)                   | 98150000.00                 |                              |  |                         |                         |                                     | 111.01                             | 16.12                                 |

**Fuente:** Tomado y modificado de Rodríguez, (2016). Data del tesista

### **3.2.1.3. Temperatura**

Abril es el mes en el que se registran las temperaturas más altas del año, con una temperatura media de 18.1 °C. Por otro lado, julio se considera el mes más frío, con temperaturas que promedian los 17.0 °C.

### **3.2.2. Vegetación**

El área del distrito de Paccha alberga una diversidad de ecosistemas que están poblados por una amplia variedad de especies vegetales, tales como arbustos, lianas y plantas epífitas, entre otras. Estos terrenos se caracterizan por la presencia de pastizales naturales y una vegetación arbustiva, como la especie *Baccharis latifolia*, conocida como chilca, así como una densa vegetación herbácea. Asimismo, se pueden encontrar pastizales cultivados, como el trébol blanco y el rye grass. (Alcántara, 2011)

## **3.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.3.1. Tipo, Diseño y Método de la Investigación**

De acuerdo al libro de metodología de la investigación de Hernández y Baptista (2014), la investigación presenta las características:

- **Tipo:** No experimental
- **Diseño:** Descriptivo y correlacional
- **Método de investigación:** Deductivo - inductivo

### **3.3.2. Población de Estudio**

Laderas del distrito de Paccha y taludes en zonas de expansión urbana de la localidad de Paccha.

### **3.3.3. Muestra**

Puntos de control de laderas y taludes en zonas críticas.

### **3.3.4. Unidad de Análisis**

Geoformas, pendiente, suelos de laderas y taludes.

### 3.3.5. Definición de Variables

Tabla 12: Variables

| <b>Variables Independientes</b>             | <b>Variables Dependientes</b> |
|---|-------------------------------|
| Precipitación<br>Infiltración<br>Sismicidad | Inestabilidad de laderas      |

## 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.4.1. Técnicas

Análisis Documental, para la recopilación de los estudios existentes de la zona de investigación; adquisición de mapas geológicos realizados por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET) y otros.

Tomas Fotográficas, con el fin de obtener un conjunto de imágenes que faciliten la visualización y comprensión de la recopilación de datos de campo.

Clasificación morfogénica, para identificar las unidades morfogénicas.

Reconocimiento de campo para identificar formaciones geológicas.

Caracterización geomecánica, usando la clasificación geomecánica GSI que es la más ajustable al tipo de material.

Análisis geotécnico, para determinar el FS en cada uno de los taludes, basados en sus características geomecánicas.

Transposición de data geológica, geomorfológica y de pendientes, para determinar el nivel de peligro por deslizamiento en laderas.

### 3.4.2. Instrumentos y Equipos

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

- Brújula tipo Brunton
- Formatos geomecánicos
- Registro de materiales cuaternarios
- Picota de geólogo
- Rayador

- GPS Navegadorio (Garmin 64 S Map)
- Protáctor
- Libreta de campo
- Cámara fotográfica marca Sony
- Wincha (50m)
- Ácido clorhídrico (HCl)
- Lupa 30X (30 aumentos)
- Planos topográfico y geológico a escala 1/5000
- Imagen satelital a escala 1/5000

### **3.5. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS**

El análisis e interpretación de datos se realizó en gabinete, procesando la información obtenida de campo recopilada en los formatos de descripción geológica – geotécnica (Anexo A, Tabla 52 a la 67)

La información recopilada, fue procesada para su posterior análisis con los softwares: AutoCAD 2023, ArcGIS 10.8, RocData V4.0 y Slide V-6.0.

#### **3.5.1. Geología**

Para poder generar el mapa de peligros por deslizamiento es necesario realizar el análisis geológico como primera instancia, ya que la litología juega un papel crucial en la estabilidad de las laderas y taludes es por ello que se siguió los siguientes pasos:

1. Se recopiló la información cartográfica del INNGEMMET a escala 1:50 000.
2. Luego se hizo el reconocimiento en campo describiendo las características litológicas de cada formación geológica.
3. Se agregó el material cuaternario a la cartografía base del INNGEMMET.
4. Finalmente se elaboró el mapa geológico para transponer posteriormente con el mapa de pendientes y unidades morfogénicas.

A continuación, se describen las formaciones identificadas en la zona de estudio:

##### **3.5.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)**

La Formación Chimú yace con una dirección NW-SE a lo largo del distrito de Paccha con una extensión que abarca parte de las comunidades de Huáchac, Playa Hermosa, Matibamba

y Chontabamba, presenta un grosor que varía de 500m en la parte baja de la comunidad Playa Hermosa hasta los 1100m en la comunidad de Chontabamba. Su litología está compuesta por una alternancia de areniscas cuarzosas de buena consistencia con delgados estratos de lutitas.



**Foto 1:** Afloramiento de la Formación Chimú

### **3.5.1.2. Formación Santa (Ki-sa)**

La Formación Santa se encuentra suprayacente a la Formación Chimú e infrayacente a la Formación Carhuaz con una dirección NW – SE que abarca parte de las comunidades de Huáchac, Playa Hermosa, Matibamba, Chontabamba, con un grosor de 400m a 500m aproximadamente. La reconocemos debido a que su litología que presenta está compuesta por una alternancia de lutitas y calizas margosas.



**Foto 2:** Afloramiento de la Formación Santa

### 3.5.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)

La Formación Carhuaz se encuentra suprayacente a la Formación Santa e infrayacente a la Formación Farrat con dirección NW – SE que abarca parte de las comunidades de Huáchac, Playa Hermosa, Matibamba, Vista Alegre, San Martín y Chontabamba, con un grosor de 300m en la comunidad de Matibamba hasta los 1000m en la parte alta de la comunidad de Chontabamba. La litología que presenta está compuesta por una intercalación de areniscas rojizas, violetas y verdosas, con lutitas grises.



Foto 3: Afloramiento de la Formación Carhuaz

### 3.5.1.4. Formación Farrat (Ki-fa)

La Formación Farrat se encuentra suprayacente a la Formación Carhuaz e infrayacente a la Formación Inca, se encuentra distribuida en las comunidades de Huáchac, Playa Hermosa, Matibamba, Vista Alegre, San Martín y Chontabamba con dirección NW -SE con un grosor de 500m en la comunidad de Huáchac hasta los 800m en cercado de Paccha. Su litología está compuesta por areniscas cuarzosas y areniscas blancas de grano medio a grueso.



Foto 4: Afloramiento de la Formación Farrat

### **3.5.1.5. Formación Inca (Ki – in)**

La formación Inca se encuentra cubierta por vegetación y depósitos cuaternarios, sin embargo, se infiere que se encuentra suprayacente y en la misma dirección que la formación Farrat.

### **3.5.1.6. Formación Chúlec (Ki-chu)**

Esta Formación se encuentra suprayacente a la Formación Inca e infrayacente a la Formación Pariatambo, se distribuye con una dirección NW – SE abarcando parte de las comunidades de Paccha Baja, Paccha Cercado, Simón Mayo, Quidén, Iglesiapampa, Laurel Pampa, Las Palmas y Villa Palma, tiene un grosor que varía entre los 300m en la comunidad de Vista Alegre a los 800m en la comunidad de Las Palmas. Su litología consta de calizas arenosas y margas, ambas de color crema amarillento como se muestra en la Foto 5.



**Foto 5:** Afloramiento de la Formación Chúlec

### **3.5.1.7. Formación Pariatambo (Ki-pt)**

Esta formación se encuentra suprayacente a la formación Chúlec e infrayacente al Grupo Pulluicana, está distribuida con dirección NW – SE en las comunidades de La Pauca, Paccha Baja, Cercado de Paccha, Rejopampa, Simón Mayo, Quidén, Vista Alegre, Laurelpampa, Las Palmas y Villa Palma. Su grosor varía desde los 200m en la comunidad de la Pauca, alcanzando los 350m en la comunidad de Laurel Pampa. Presenta una litología fácilmente reconocible que consta de lutitas y calizas nodulares como lo podemos apreciar en la Foto 6.



**Foto 6:** Afloramiento de la Formación Pariatambo

### **3.5.1.8. Grupo Pulluicana (Ks-pu)**

El Grupo Pulluicana se encuentra distribuido en gran parte del distrito de Paccha con dirección NW – SE y está cubierto por depósitos cuaternarios y vegetación en su mayoría, aflorando solamente en los cortes de carretera donde observamos que se compone de calizas gris parduscas con presencia de finos estratos de lutitas.



**Foto 7:** Afloramiento del Grupo Pulluicana

### **3.5.1.9. Depósitos Cuaternarios (Qh)**

Los depósitos cuaternarios los encontramos distribuidos sobre todas las formaciones presentes en el distrito, en su mayoría son depósitos Coluvio-Aluviales que están

constituidos por una matriz arcillosa con fragmentos angulosos y mal clasificados de roca caliza, margas y lutita como se puede apreciar en la Foto 8.



**Foto 8:** Depósitos Coluvio-Aluviales

### 3.5.2. Unidades Morfogenéticas

Las geoformas del área de investigación son producto de la actividad geológica tanto interna como externa de la litosfera. Para clasificar estos cambios en el relieve, se han llevado a cabo varios estudios. Por ejemplo, el informe de Zonificación Ecológica y Económica de Cajamarca del Gobierno Regional de Cajamarca (2011) identifica cuatro categorías principales y veintiocho subcategorías.

Aunque este enfoque es detallado, puede resultar poco práctico para áreas más pequeñas. Por esta razón, en esta investigación se ha optado por utilizar la clasificación establecida por Rodríguez (2016), donde considera planicies, lomadas, laderas y escarpas. (Ver Anexo B, M-03).

**Tabla 1:** Clasificación de las unidades Geomorfológicas

| <b>Unidad Morfogenética</b> | <b>Pendiente</b> |
|-----------------------------|------------------|
| Planicies                   | (0°-8°)          |
| Lomadas                     | (8° a 20°)       |
| Laderas                     | (20° a 50°)      |
| Escarpas                    | (>50°)           |

**Fuente:** Rodríguez (2016)

### 3.5.2.1. Planicies (0°-8°)

Se observan áreas con una inclinación muy suave, inferior a los 8 grados, predominantemente formadas por depósitos cuaternarios. Estas áreas también albergan pastizales que se utilizan para la cría de ganado y agricultura (Foto 9).



**Foto 9:** Planicie de 3° de pendiente

### 3.5.2.2. Lomadas (8° a 20°)

Estas unidades geomorfológicas están compuestas por depósitos cuaternarios y cobertura vegetal que son aprovechados para la ganadería (Foto 10).



**Foto 10:** Lomada de 12°

### 3.5.2.3. Laderas (20° a 50°)

Son las que predominan en el área de investigación, se encuentran cubiertas de vegetación endémica (Foto 11).



Foto 11: Ladera de 45°

### 3.5.2.4. Escarpas (>50°)

Debido a las pendientes elevadas, las escarpas son poco predominantes y se ubican cerca de los drenajes, las encontramos en las zonas cercanas a las quebradas en el área de investigación (Foto 12).



Foto 12: Escarpa de 83°

### 3.5.3. Hidrología

Hidrográficamente la zona de investigación se encuentra en la microcuenca del Río Simulle que es tributario del Río Llaucano perteneciente a la vertiente del Atlántico.

La red de drenaje en la que se encuentra la zona de investigación es de tipo dendrítico compuesto quebradas afluentes del Río Simulle y del Río Llaucano.

#### 3.5.3.1. Río Simon Mayo

Este río presenta una dirección Sureste-Noroeste, tiene una longitud aproximada de 6 Km el cual presenta aumentos en su caudal en los meses de enero, febrero y marzo cuando las lluvias son abundantes.



**Foto 13:** Vista del Río Simon Mayo

Entre las quebradas principales encontramos las siguientes:

#### 3.5.3.2. Quebrada 1

Esta quebrada se encuentra con una dirección Noreste-Suroeste, su caudal es variable, presenta una corriente intermitente ya que la mayor parte del año presenta agua y su caudal aumenta en los meses de enero, febrero y marzo cuando las precipitaciones son abundantes.



**Foto 14:** Quebrada intermitente

### 3.5.3.3. Quebrada 2

La quebrada 2 presenta una dirección Noreste-Suroeste, su corriente es efímera ya que solamente contiene agua cuando llueve.



**Foto 15:** Quebrada de corriente efímera

### 3.5.3.4. Quebrada 3

La quebrada 3 tiene una dirección Noreste-Suroeste y presenta una corriente intermitente debido a que contiene agua la mayor parte del año debido a que es el desagadero de la red de alcantarillado del distrito de Paccha.



**Foto 16:** Quebrada intermitente

#### **3.5.3.5. Quebrada 4**

La quebrada 4 presenta una dirección Noreste-Suroeste, su corriente es efímera ya que solamente contiene agua cuando las lluvias son intensas en los meses de enero, febrero y marzo.



**Foto 17:** Quebrada de corriente efímera

#### **3.5.4. Sismicidad**

Según la Norma Técnica E.030, del Reglamento Nacional de Edificaciones; el área de investigación se encuentra en la zona sísmica 2, a la cual se asigna un factor  $Z = 0.25$ , este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El INDECI (2014), realiza el cálculo del

coeficiente sísmico para el diseño de taludes empleando el método pseudoestático, donde recomienda utilizar un coeficiente sísmico horizontal  $K_h = 0.75 * Z$  lo que da como resultado un  $K_h$  de 0.18 que será utilizado para el análisis pseudoestático de los taludes de la zona de estudio.

### **3.5.5. Geotecnia**

En las zonas de expansión urbana y dentro del caso urbano del distrito de Paccha se recolectó la información geológica de 16 taludes de suelo que luego se analizaron mediante los softwares RocData V-4.0 y Slide V-6.0 para estimar los factores de seguridad y luego realizar la zonificación de las áreas de riesgo como base para la planificación territorial. Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

1. Recopilación de la información geológica – geotécnica de los 16 taludes. (Anexo A, Tablas 52 – 67)
2. Dibujo de la geometría de los taludes en AutoCAD 2023 en formato DWG para exportar a Slide V6.0.
3. Procesamiento de los datos en RocData V4.0 para obtener valores de la cohesión, ángulo de fricción para fragmentos de roca y los valores suelos del Anexo A (Tablas 68 y 69).
4. Importamos los contornos de los taludes preparados en AutoCAD 2023 en formato DWG a Slide V6.0.
5. Con los datos obtenidos de RocData V4.0 para taludes de composición en gran porcentaje de fragmentos rocosos, procedemos a ingresar los parámetros de entrada (cohesión, ángulo de fricción, peso unitario para suelos) en Slide V6.0 para obtener el factor de seguridad.

### 3.5.5.1. Talud 1

Este talud en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha, está conformado por calizas amarillentas y lutitas grisáceas, ambas muy desintegradas formando un suelo de tipo coluvio-aluvial.



**Foto 18:** Talud ubicado en Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha

**Tabla 13:** Datos del Talud 1

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 4 m  |
| 9280689   | 785062 | Longitud de la berma | 6 m  |
|           |        | Buzamiento           | 75 ° |
| Cota      | 2080m  | Azimut               | 95 ° |

**Tabla 14:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 1

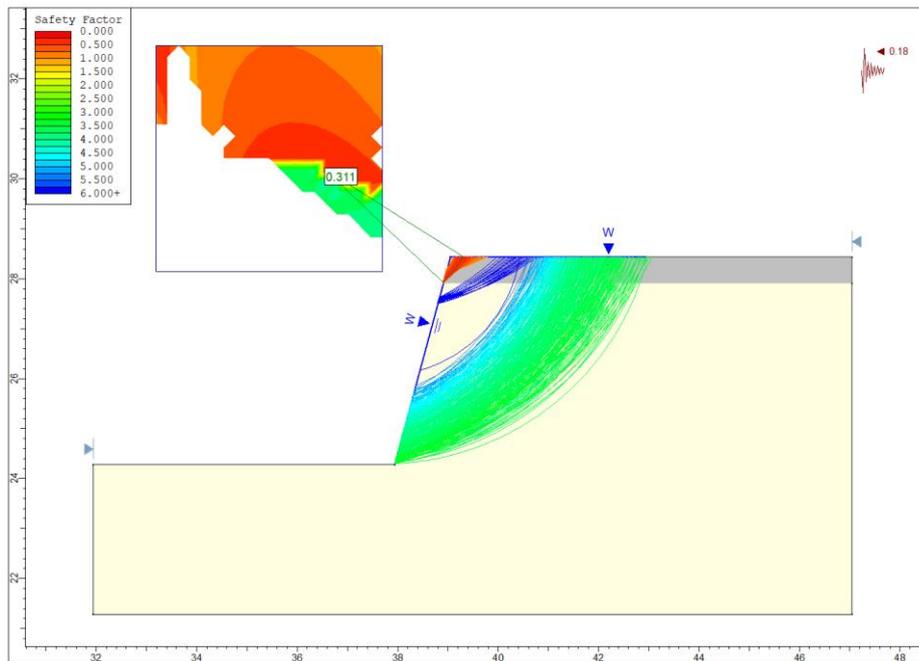
|                              |                  |         |        |
|------------------------------|------------------|---------|--------|
| Clasificación de Hoek-Brown  | sigci            | 55      | Mpa    |
|                              | GSI              | 40      |        |
|                              | mi               | 9       |        |
|                              | D                | 0.7     |        |
|                              | Ei               | 50600   |        |
|                              | MR               | 920     |        |
| Criterio Hoek-Brown          | mb               | 0.333   |        |
|                              | s                | 0.001   |        |
|                              | a                | 0.511   |        |
| Rango de envolvente de falla | Aplicación       | Taludes |        |
|                              | sig3max          | 0.104   | MPa    |
|                              | Peso Específico  | 0.026   | MN/m3  |
|                              | Altura del Talud | 4       | m      |
| Ajuste de Mohr-Coulomb       | c                | 0.097   | MPa    |
|                              | phi              | 54.557  | Grados |

**Tabla 15:** Parámetros del del Talud 1

| <b>Parámetro</b>   | <b>Valor / Unidad</b> |
|--------------------|-----------------------|
| Cohesión           | 0.012 Mpa             |
| Ángulo de Fricción | 28 °                  |
| Peso Específico    | 0.026 MN/m3           |

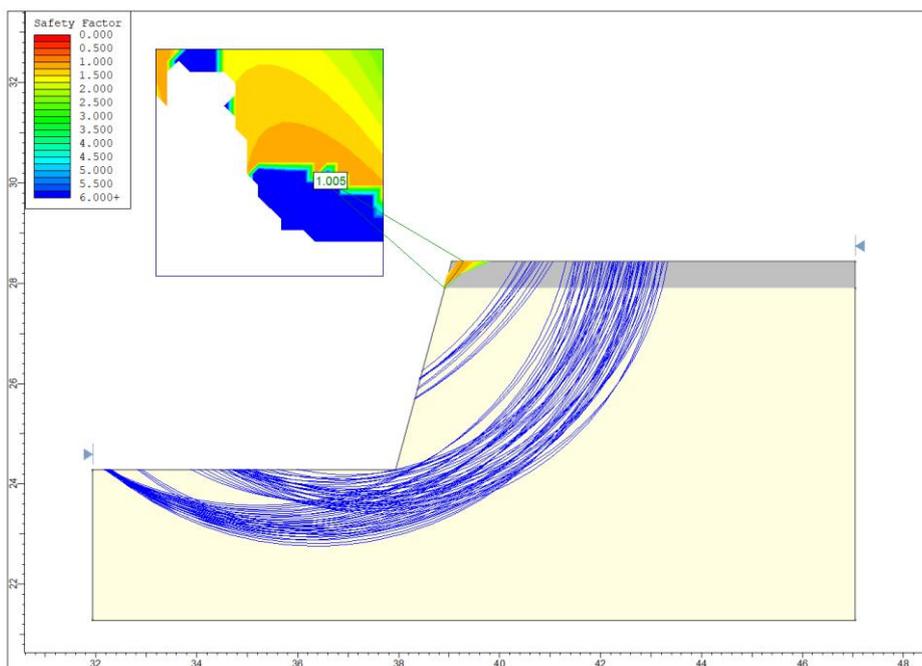
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 1 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 9:** Factor de Seguridad (0.311) del Talud 1 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 1 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 10:** Factor de Seguridad (1.005) del Talud 1 en condiciones estáticas

### 3.5.5.2. Talud 2

Este talud se encuentra ubicado en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha y está formado por depósitos coluvio-aluviales que consta de suelo arcilloso, limos y fragmentos angulosos de roca caliza.



**Foto 19:** Talud en depósitos coluvio-aluviales en el Km 29+800

**Tabla 16:** Datos del Talud 2

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 3 m   |
| 9280700   | 785037 | Longitud de la Berma | 7 m   |
|           |        | Buzamiento           | 68 °  |
| Cota      | 2082m  | Azimut               | 140 ° |

**Tabla 17:** Parámetros del Talud 2

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 18 °                    |
| Peso Específico    | 0.026 MN/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 2 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.

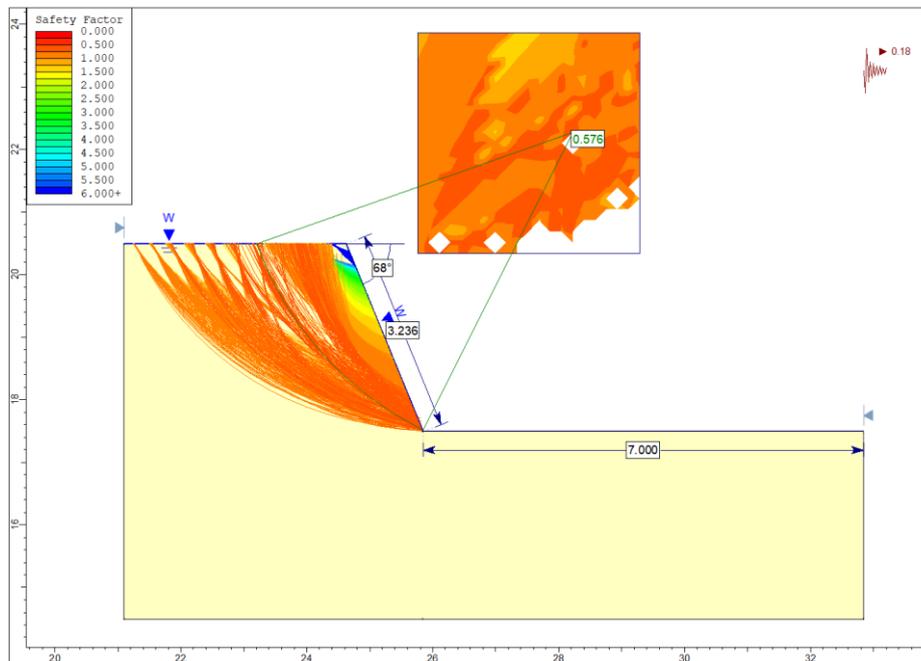


Figura 11: Factor de Seguridad (0.576) del Talud 2 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 2 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.

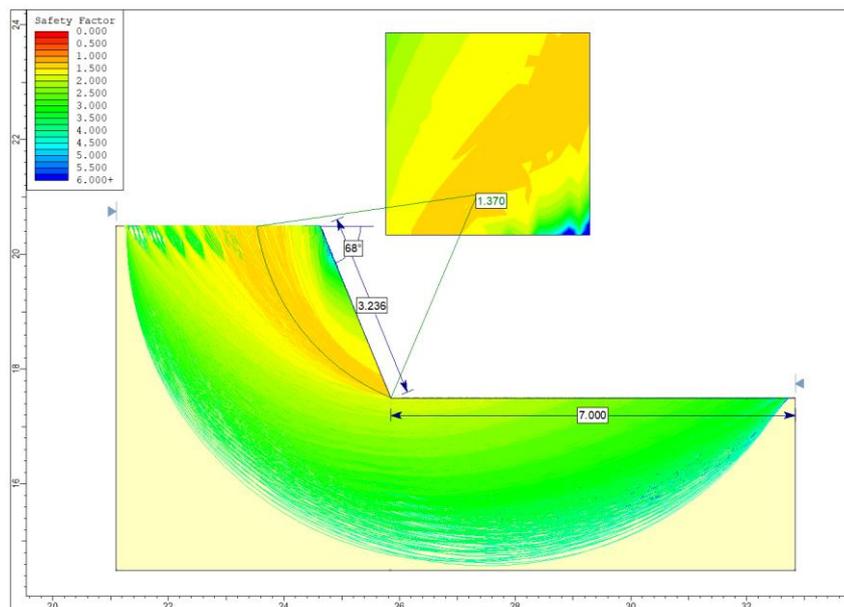


Figura 12: Factor de Seguridad (1.370) del Talud 2 en condiciones estáticas

### 3.5.5.3. Talud 3

Este talud se encuentra compuesto principalmente de suelo de limos y arcillas, además en menor proporción de pequeños fragmentos de roca caliza.



**Foto 20:** Talud de suelo conformado principalmente de material arcilloso

**Tabla 18:** Datos del Talud 3

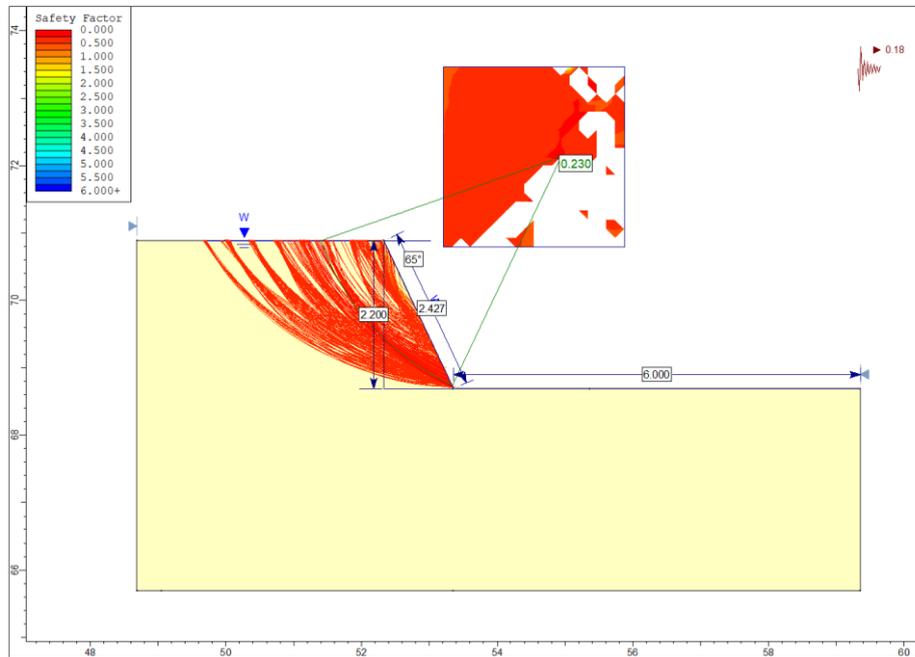
| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.2 m |
| 9280730   | 784992 | Longitud de la berma | 6 m   |
|           |        | Buzamiento           | 65 °  |
| Cota      | 2085m  | Azimut               | 162°  |

**Tabla 19:** Parámetros del Talud 3

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.002 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 27°                     |
| Peso Específico    | 0.017 MN/m <sup>3</sup> |

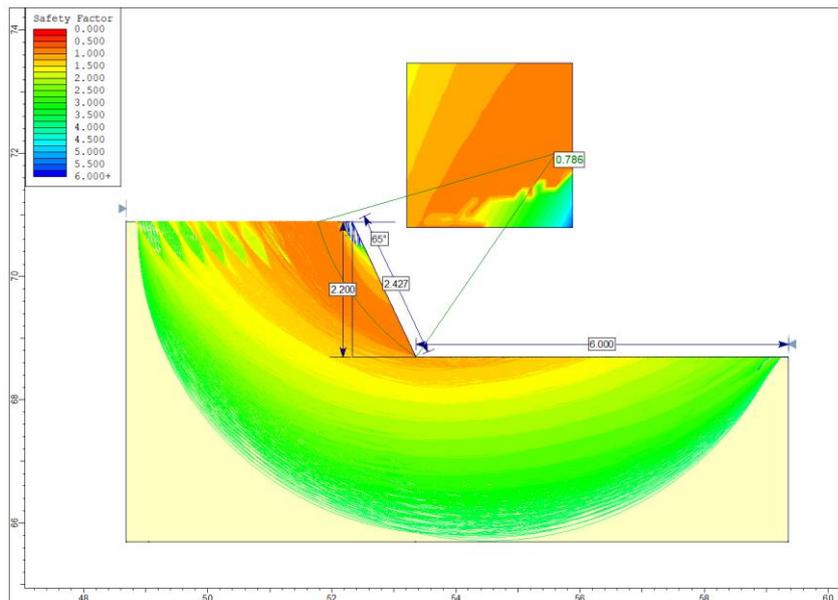
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 3 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 13:** Factor de Seguridad (0.230) del Talud 3 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 3 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 14:** Factor de Seguridad (0.786) del Talud 3 en condiciones estáticas

### 3.5.5.4. Talud 4

Este talud se encuentra en el Km 0+600 aproximadamente de la trocha carrozable Paccha – Paccha Baja y está constituido de material cuaternario tipo coluvio-aluvial cuya composición es de una mezcla heterogénea de arcillas y fragmentos de roca caliza marga color crema-amarillento de la Formación Chúlec.



**Foto 21:** Talud ubicado en el Km 0+600 de la carretera Paccha-Paccha Baja

**Tabla 20:** Datos del Talud 4

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.4 m |
| 9281484   | 784575 | Longitud de la berma | 5 m   |
|           |        | Buzamiento           | 73°   |
| Cota      | 2016m  | Azimut               | 162°  |

**Tabla 21:** Parámetros del Talud 4

| Parámetro          | Valor / Unidad |
|--------------------|----------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa      |
| Ángulo de Fricción | 30°            |
| Peso Específico    | 0.021 MN/m3    |

**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)



### 3.5.5.5. Talud 5

Este talud se encuentra en el Km 0+630 aproximadamente de la trocha carrozable Paccha – Paccha Baja, el talud se encuentra en un depósito cuaternario que litológicamente está conformado por suelo limo arcilloso con presencia de pequeños fragmentos de lutitas.

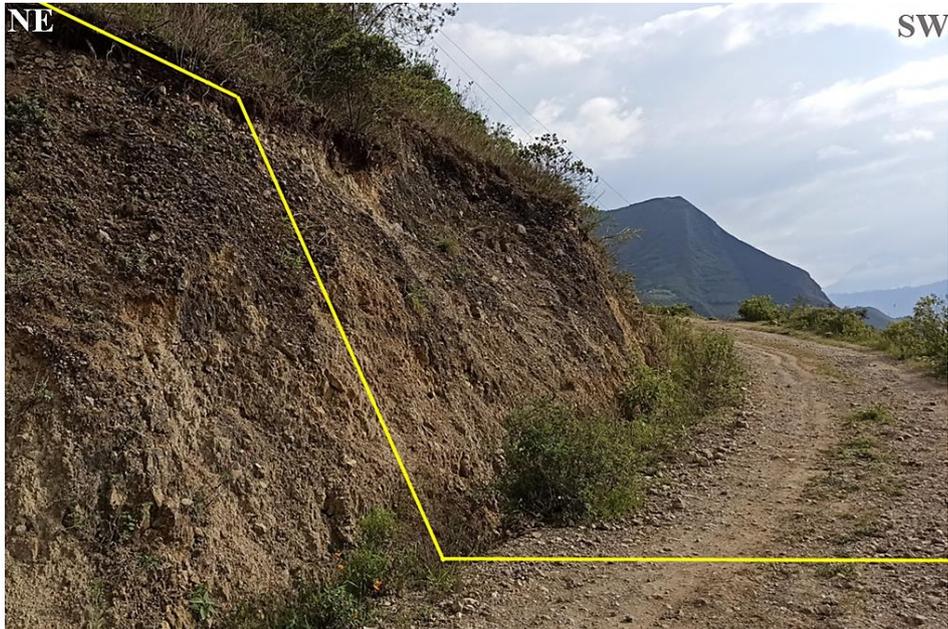


Foto 22: Talud de suelo arcilloso en el Km 0+600

Tabla 22: Datos del Talud 5

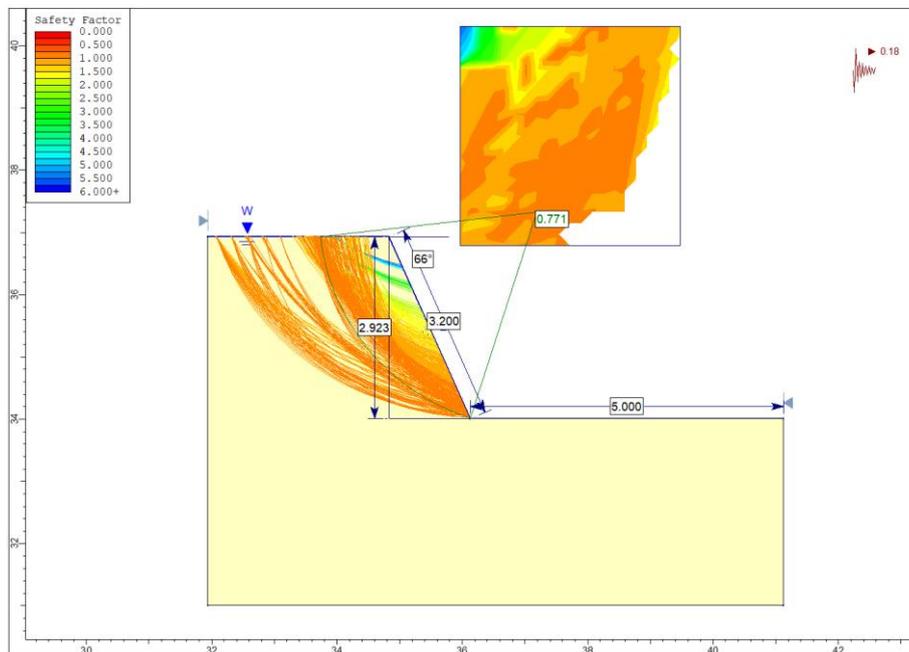
| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.9 m |
| 9281518   | 784596 | Longitud de la berma | 5 m   |
|           |        | Buzamiento           | 66°   |
| Cota      | 2013m  | Azimut               | 235°  |

Tabla 23: Parámetros del Talud 5

| Parámetro          | Valor / Unidad |
|--------------------|----------------|
| Cohesión           | 0.010 Mpa      |
| Ángulo de Fricción | 30°            |
| Peso Específico    | 0.018 MN/m3    |

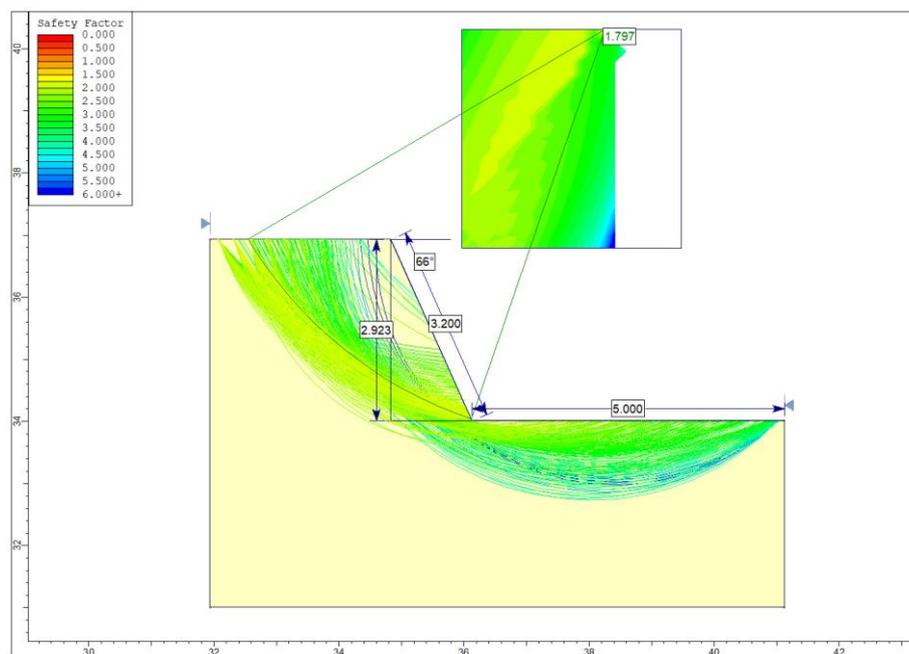
Fuente: Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 5 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 17:** Factor de Seguridad (0.771) del Talud 5 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 5 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 18:** Factor de Seguridad (1.797) del Talud 5 en condiciones estáticas

### 3.5.5.6. Talud 6

Este talud se encuentra dentro del casco urbano y está constituido de material cuaternario tipo coluvio-aluvial compuesto por suelo arcilloso y fragmentos de roca caliza.



**Foto 23:** Talud de suelo arcilloso

**Tabla 24:** Datos del Talud 6

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 1.8 m |
| 9281368   | 784901 | Longitud de la berma | 8 m   |
|           |        | Buzamiento           | 87°   |
| Cota      | 2110m  | Azimut               | 135°  |

**Tabla 25:** Parámetros del Talud 6

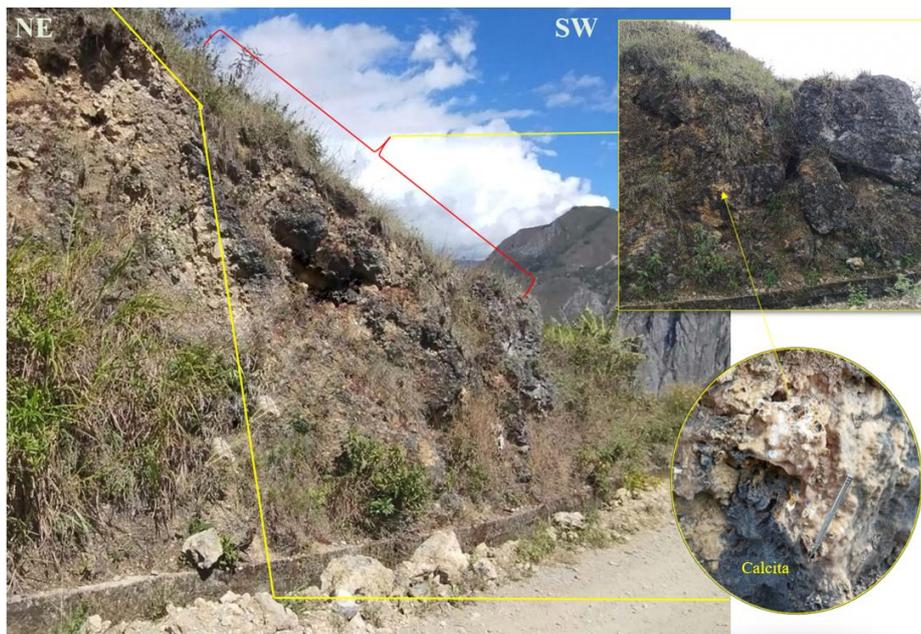
| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.010 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 34°                     |
| Peso Específico    | 0.021 MN/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Tomado de Hoeck y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)



### 3.5.5.7. Talud 7

El talud se encuentra en el Km 30+600 de la carretera Bambamarca-Paccha y se encuentra en material cuaternario tipo coluvio-aluvial compuesto de grandes fragmentos de roca caliza color oscuro, producto de la meteorización biológica, las aguas cargadas de soluciones carbonatadas forman frecuentemente la calcita en las rocas, además en menor proporción encontramos suelo arcilloso.



**Foto 24:** Talud en depósitos cuaternarios

**Tabla 26:** Datos del Talud 7

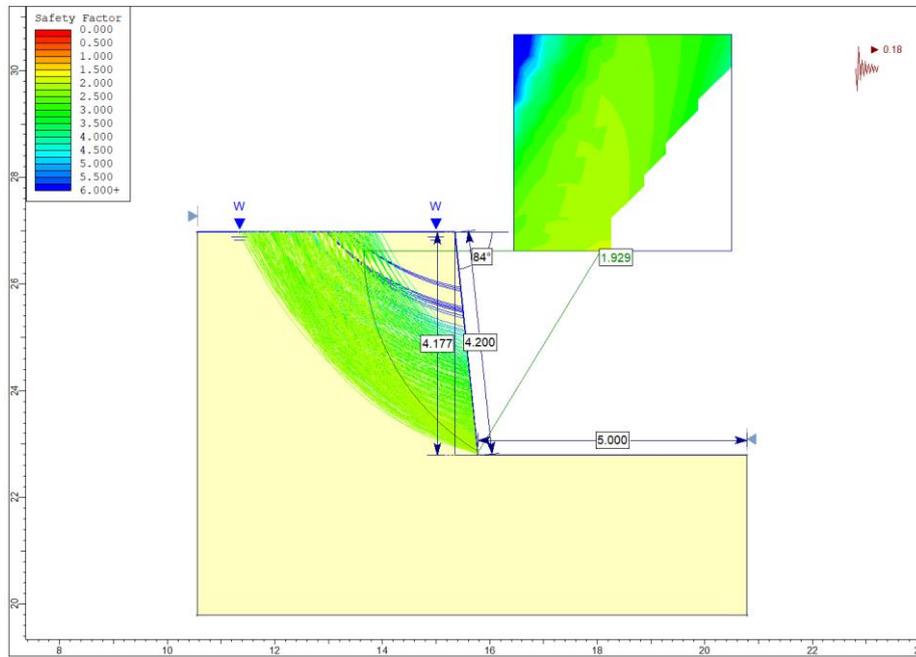
| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 4 m  |
| 9281516   | 784982 | Longitud de la berma | 5 m  |
|           |        | Buzamiento           | 84°  |
| Cota      | 2120m  | Azimut               | 265° |

**Tabla 27:** Parámetros del Talud 7

| Parámetro          | Valor / Unidad |
|--------------------|----------------|
| Cohesión           | 0.030 Mpa      |
| Ángulo de Fricción | 50°            |
| Peso Específico    | 0.027 MN/m3    |

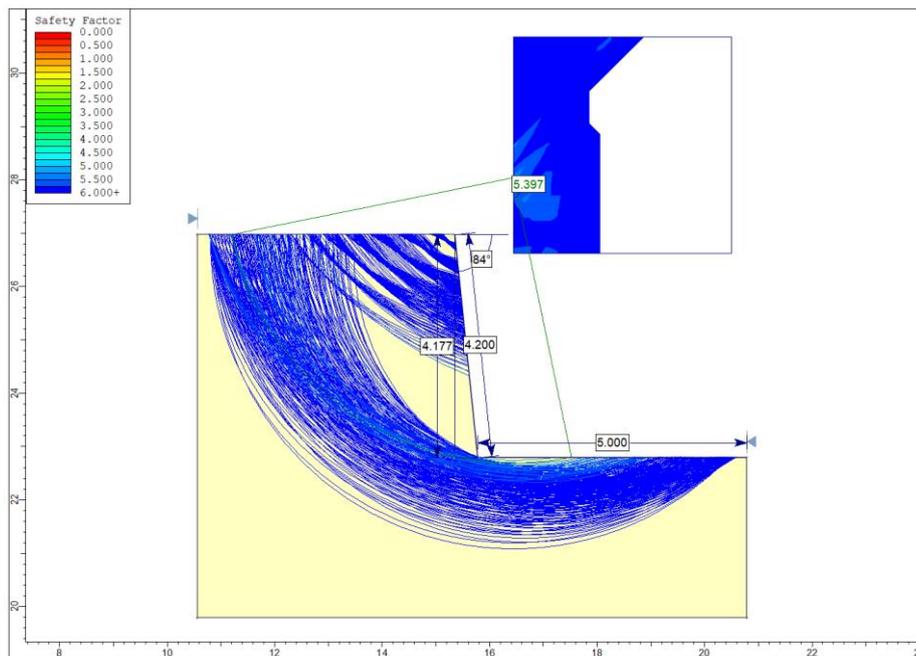
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 7 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 21:** Factor de Seguridad (1.929) del Talud 7 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 7 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 22:** Factor de Seguridad (5.397) del Talud 7 en condiciones estáticas

### 3.5.5.8. Talud 8

El talud se ubica al sur del Estadio Municipal Régulo Cieza Zorrilla, está conformado por suelo limo arcilloso y bloques de roca caliza.



**Foto 25:** Talud de material cuaternario coluvio-aluvial

**Tabla 28:** Datos del Talud 8

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2 m  |
| 9281247   | 785157 | Longitud de la berma | 4 m  |
|           |        | Buzamiento           | 81°  |
| Cota      | 2162m  | Azimut               | 232° |

**Tabla 29:** Parámetros del Talud 8

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 34°                     |
| Peso Unitario      | 0.021 MN/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 8 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.

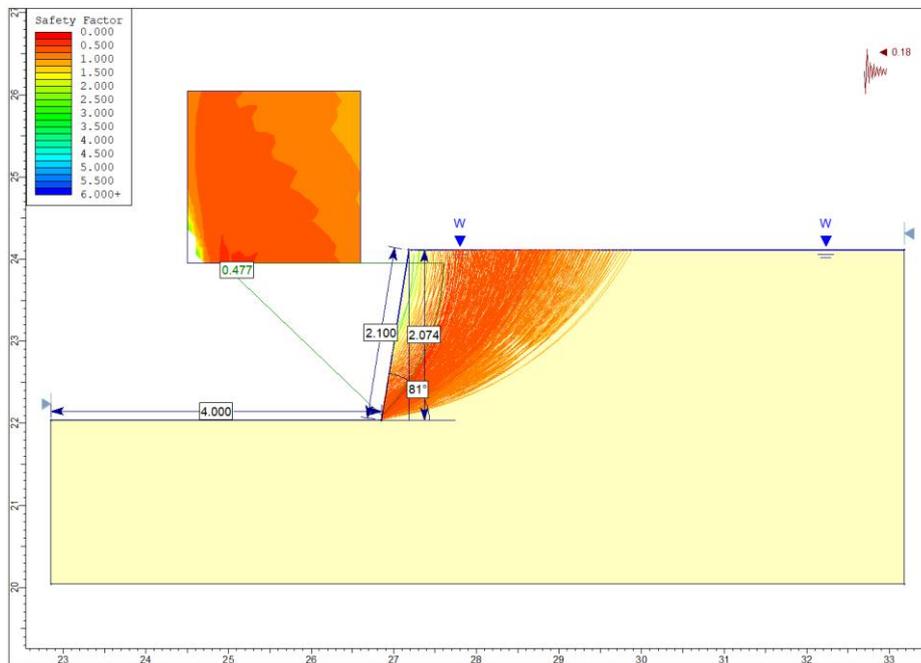


Figura 23: Factor de Seguridad (0.477) del Talud 8 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 8 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.

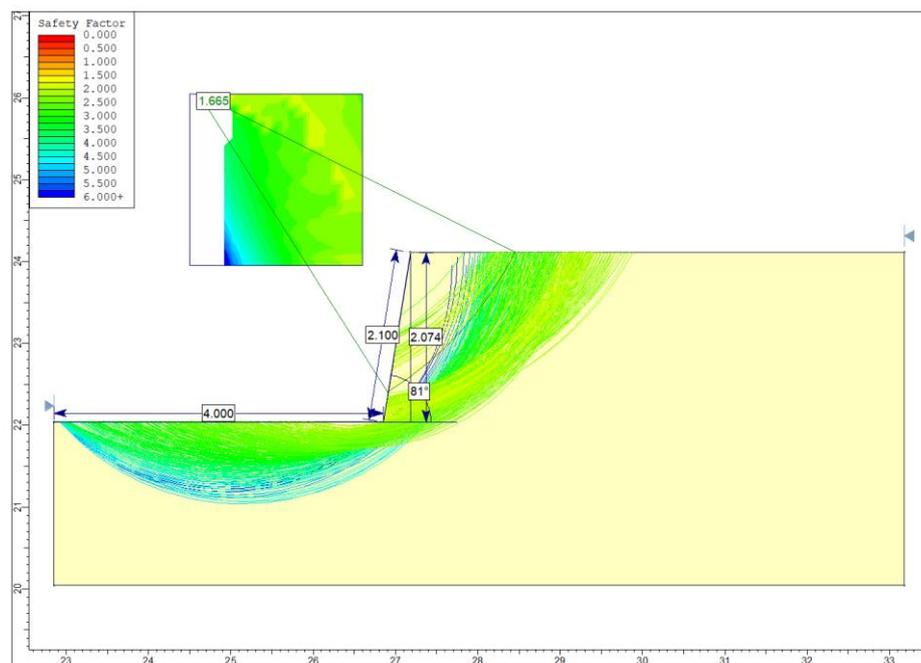


Figura 24: Factor de Seguridad (1.665) del Talud 8 en condiciones estáticas

### 3.5.5.9. Talud 9

El talud está compuesto por depósitos coluvio-aluviales que contienen fragmentos angulosos a sub-angulosos de roca caliza contenidos en una matriz de suelo de limoso-arcilloso, además cuenta con una capa de 40 cm de limos y materia orgánica.



**Foto 26:** Talud de suelo

**Tabla 30:** Datos del Talud 9

| Ubicación |        | Geometría del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.9 m |
| 9281166   | 785149 | Longitud de la berma | 10 m  |
|           |        | Buzamiento           | 80°   |
| Cota      | 2167m  | Azimut               | 173°  |

**Tabla 31:** Parámetros de los limos del Talud 9

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.002 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 27°                     |
| Peso Específico    | 0.018 MN/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

**Tabla 32:** Parámetros de los depósitos cuaternarios del Talud 9

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 34°                     |
| Peso Específico    | 0.021 MN/m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 9 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.

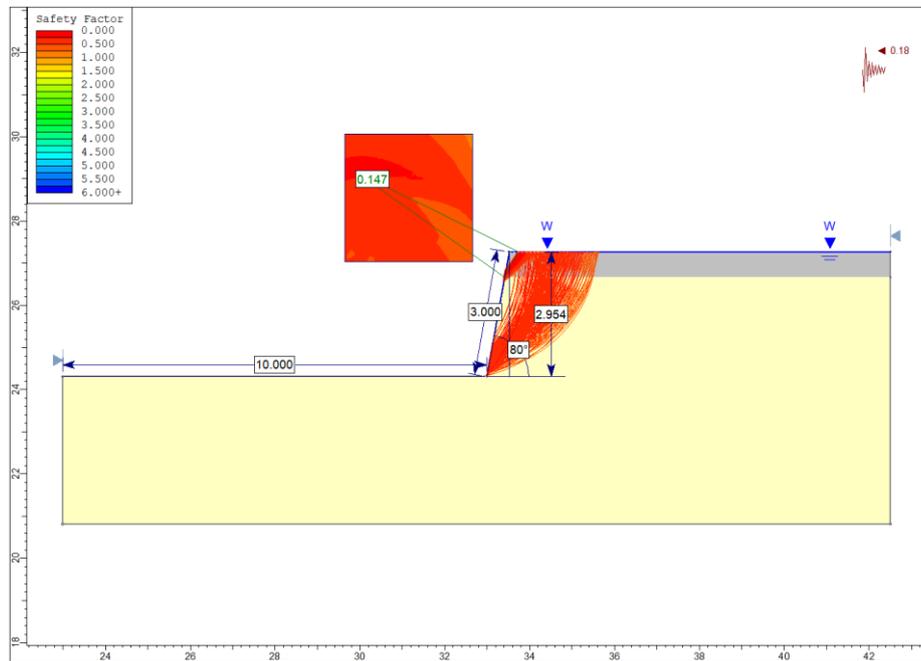


Figura 25: Factor de Seguridad (0.147) del Talud 9 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 9 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.

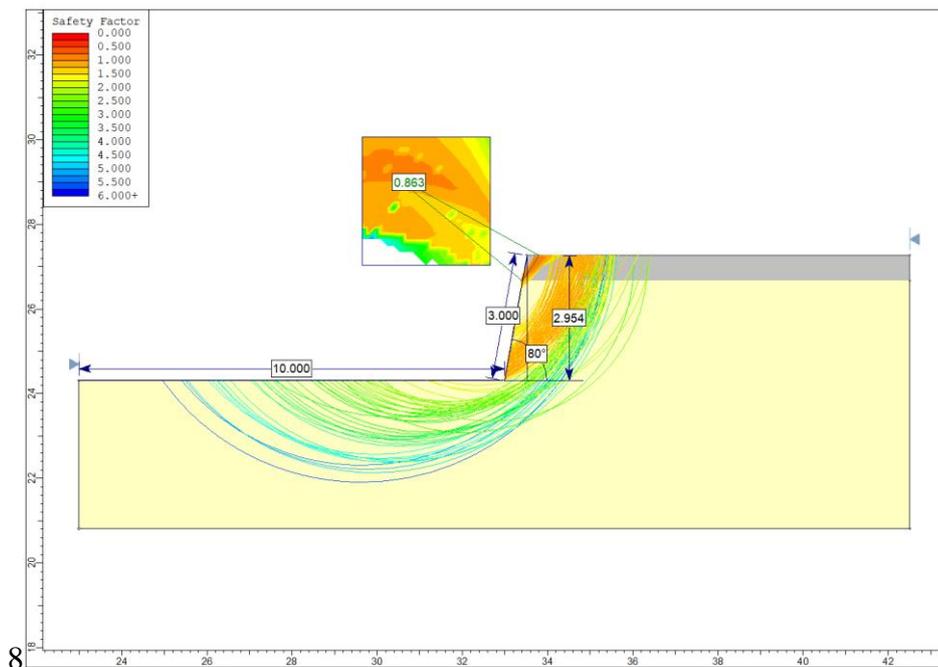


Figura 26: Factor de Seguridad (0.863) del Talud 9 en condiciones estáticas

### 3.5.5.10. Talud 10

Este talud está compuesto roca totalmente desintegrada con limos y arcillas que se comportan como material cuaternario tipo coluvio-aluvial.



**Foto 27:** Talud en depósitos coluvio-aluviales

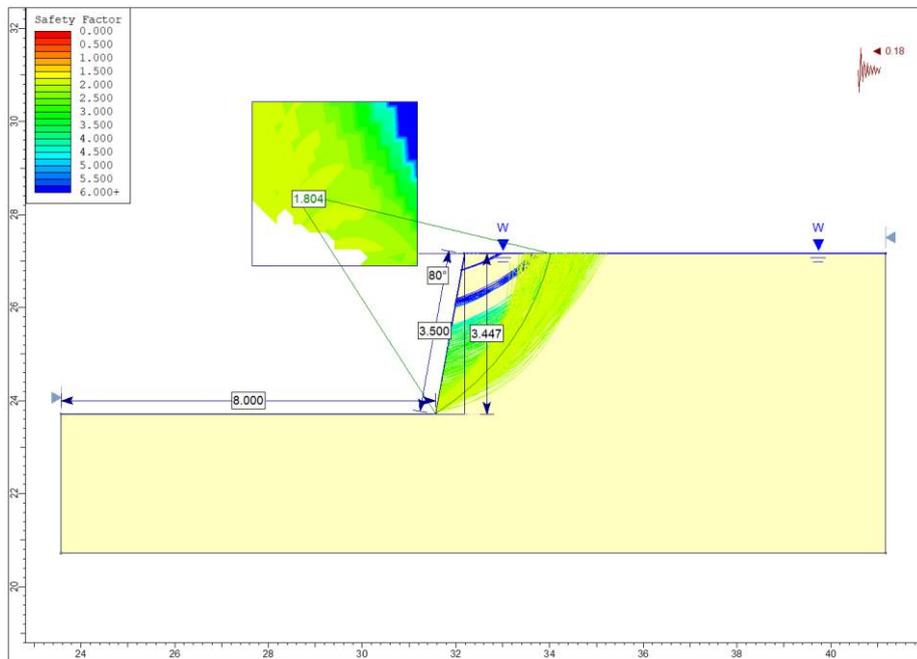
**Tabla 33:** Datos del Talud 10

| Ubicación |        | Geometría Del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 3 m  |
| 9281167   | 785167 | Longitud de la berma | 10 m |
|           |        | Buzamiento           | 80°  |
| Cota      | 2170m  | Azimut               | 173° |

**Tabla 34:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para suelos del Talud 10

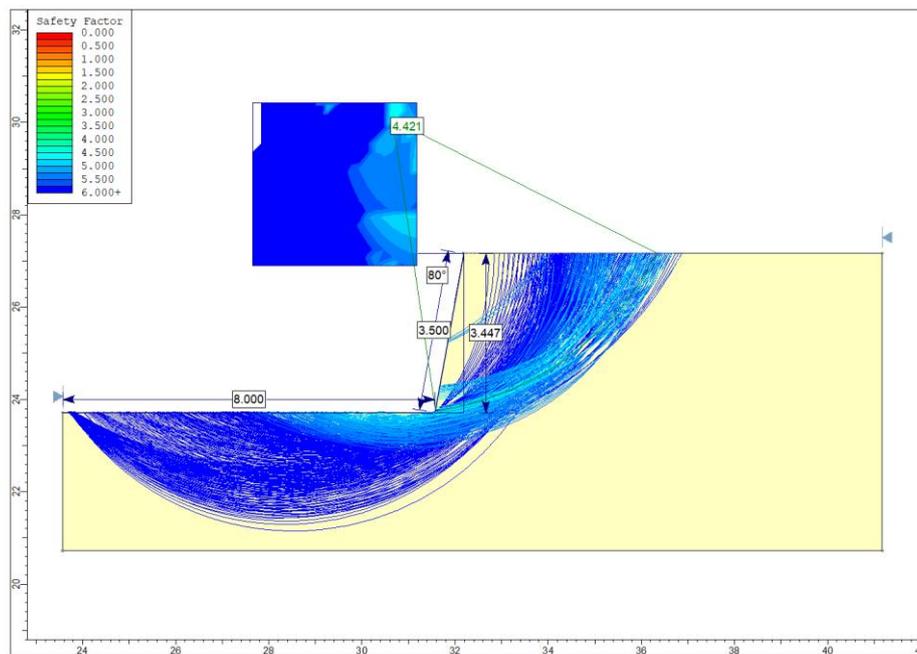
|                              |                  |           |        |
|------------------------------|------------------|-----------|--------|
| Clasificación de Hoek-Brown  | sigci            | 27        | MPa    |
|                              | GSI              | 34        |        |
|                              | mi               | 9         |        |
|                              | D                | 0.7       |        |
|                              | Ei               | 24300     |        |
|                              | MR               | 900       |        |
| Criterio Hoek-Brown          | mb               | 0.239513  |        |
|                              | s                | 7.01E-05  |        |
|                              | a                | 0.517064  |        |
| Rango de envolvente de falla | Aplicación       | Taludes   |        |
|                              | sig3max          | 0.0767953 | MPa    |
|                              | Peso Específico  | 0.024     | MN/m3  |
|                              | Altura del Talud | 3.4       | m      |
| Ajuste de Mohr-Coulomb       | c                | 0.0398845 | MPa    |
|                              | phi              | 49.3255   | Grados |

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 10 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 27:** Factor de Seguridad (1.804) del Talud 10 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 10 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 28:** Factor de Seguridad (4.421) del Talud 10 en condiciones estáticas

### 3.5.5.11. Talud 11

Este talud está constituido por depósitos coluvio-aluviales y en su cabecera presenta una capa de 50 cm de suelo limoso. En la cara del talud podemos apreciar el material limo-arcilloso con la presencia de clastos angulosos y mal clasificados de roca caliza.



**Foto 28:** Talud de suelo limo-arcilloso y fragmentos de roca caliza

**Tabla 35:** Datos del Talud 11

| Ubicación |        | Geometría del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 3 m  |
| 9281196   | 785042 | Longitud de la berma | 9 m  |
|           |        | Buzamiento           | 86°  |
| Cota      | 2138m  | Azimut               | 215° |

**Tabla 36:** Parámetros de limos del Talud 11

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.001 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 28°                     |
| Peso Específico    | 0.019 MN/m <sup>3</sup> |

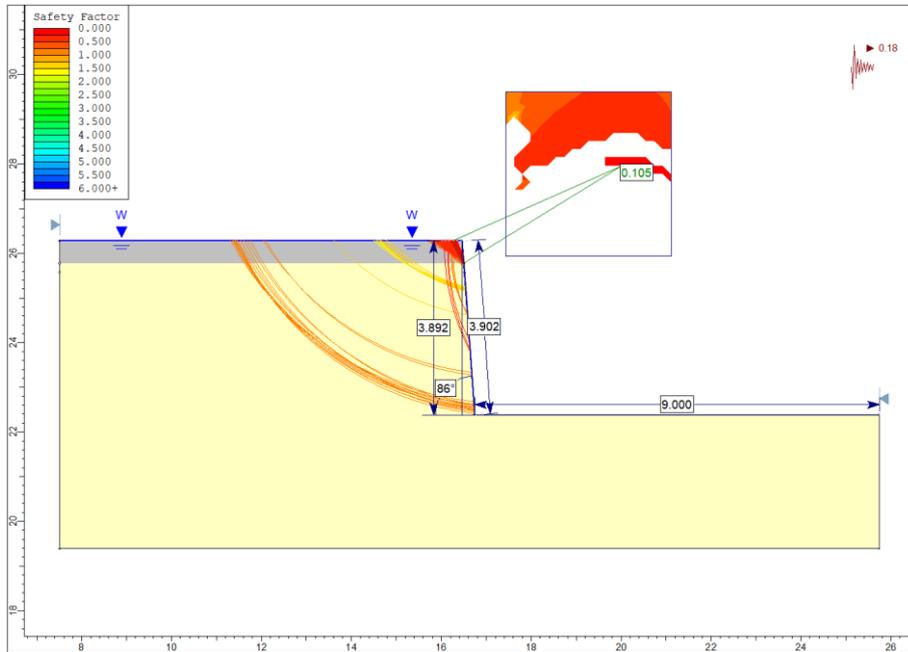
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

**Tabla 37:** Parámetros de los depósitos coluvio-aluviales Talud 11

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 35°                     |
| Peso Específico    | 0.021 MN/m <sup>3</sup> |

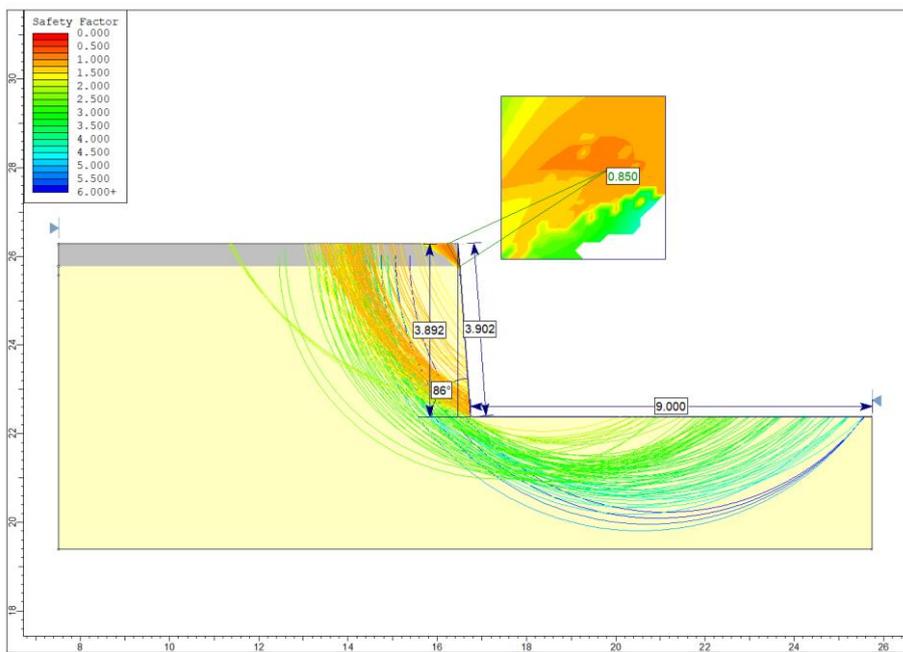
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 11 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 29:** Factor de Seguridad (0.105) del Talud 11 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 11 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 30:** Factor de Seguridad (0.850) del Talud 11 en condiciones estáticas

### 3.5.5.12. Talud 12

Este talud está formado por material coluvio-aluvial que ha experimentado un transporte mínimo, como se evidencia en los fragmentos de roca caliza angulosa y incrustados en una matriz limo-arcillosa.



**Foto 29:** Talud de suelo limo-arcilloso

**Tabla 38:** Datos del Talud 12

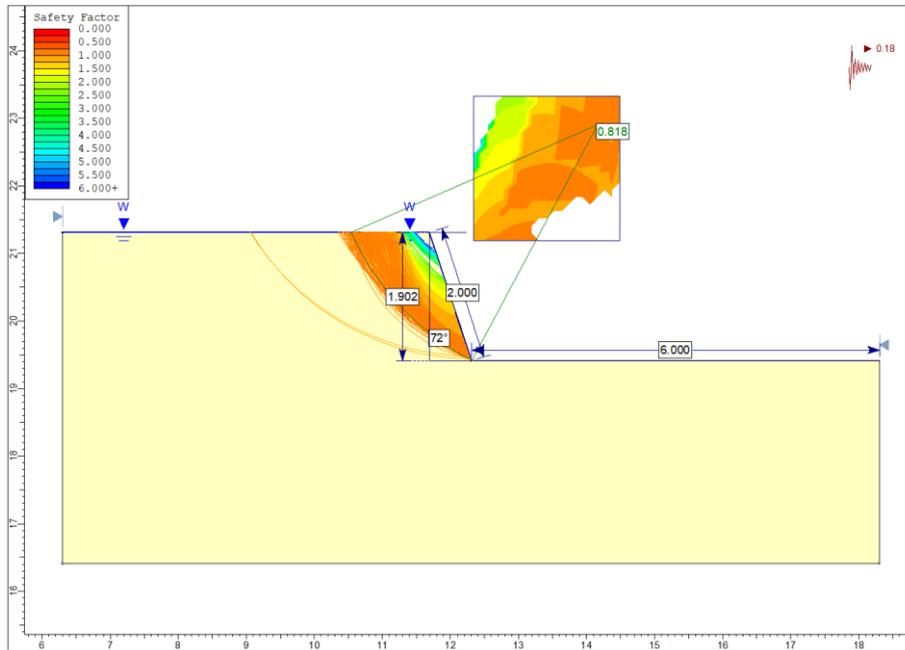
| Ubicación |        | Geometría del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 1,9 m |
| 9281206   | 785014 | Longitud de la berma | 6 m   |
|           |        | Buzamiento           | 72°   |
| Cota      | 2131m  | Azimut               | 130°  |

**Tabla 39:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para limo-arcillas del Talud 12

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 28°                     |
| Peso Específico    | 0.021 MN/m <sup>3</sup> |

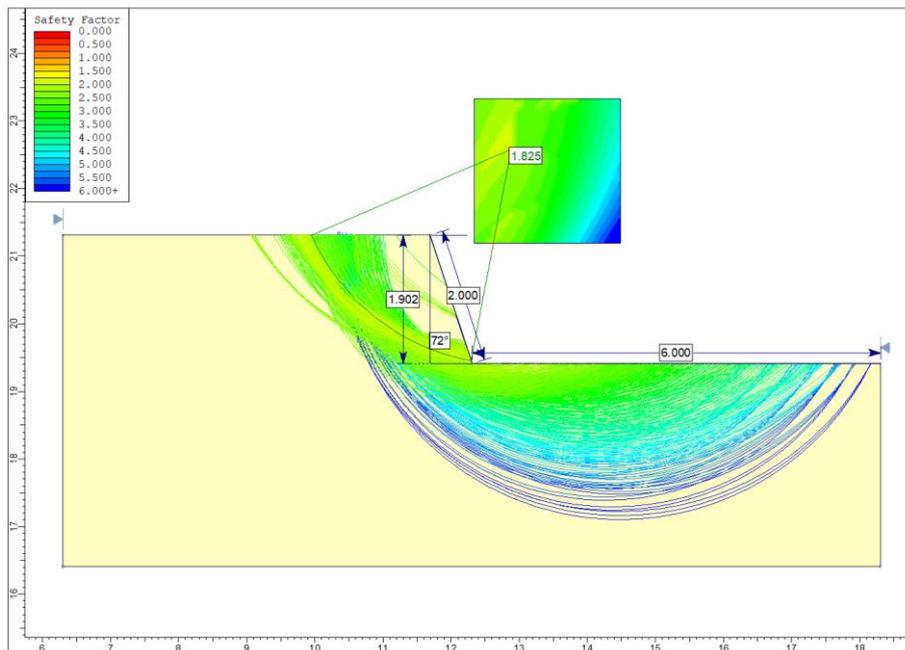
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 12 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 31:** Factor de Seguridad (0.818) del Talud 12 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 12 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 32:** Factor de Seguridad (1.825) del Talud 12 en condiciones estáticas

### 3.5.5.13. Talud 13

Este talud se encuentra localizado al margen derecho de las gradas camino al Estadio Municipal, está compuesto por material cuaternario tipo coluvio – aluvial que contiene suelo limo-arcilloso con fragmentos sub-angulosos de roca caliza.



**Foto 30:** Talud de suelo limo-arcilloso

**Tabla 40:** Datos del Talud 13

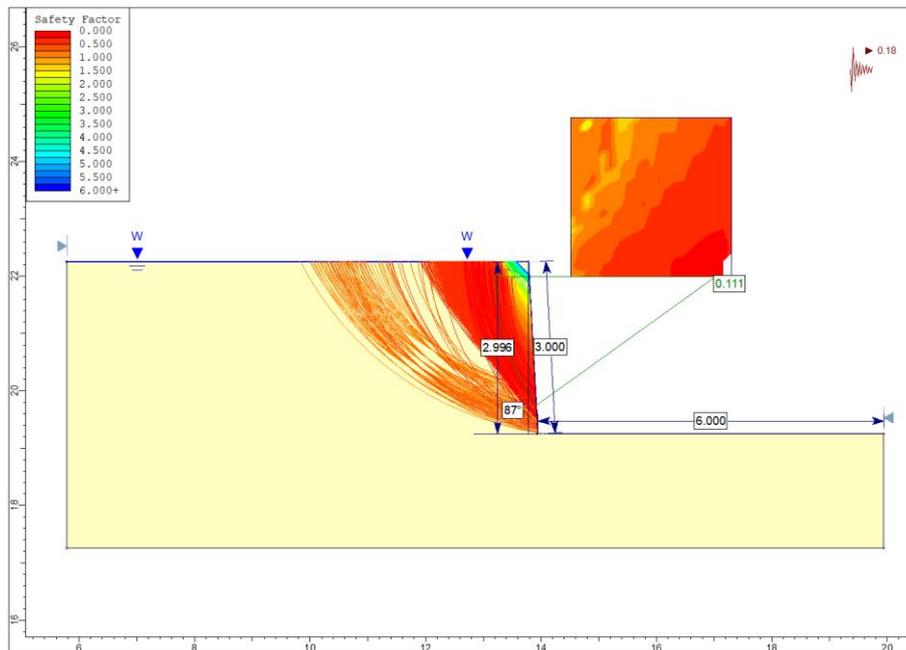
| Ubicación |        | Geometría del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.8 m |
| 9281161   | 785013 | Longitud de la berma | 6 m   |
|           |        | Buzamiento           | 87°   |
| Cota      | 2128m  | Azimut               | 215°  |

**Tabla 41:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para suelos del Talud 13

| Parámetro          | Valor / Unidad |
|--------------------|----------------|
| Cohesión           | 0.008 Mpa      |
| Ángulo de Fricción | 34°            |
| Peso Específico    | 0.022 MN/m3    |

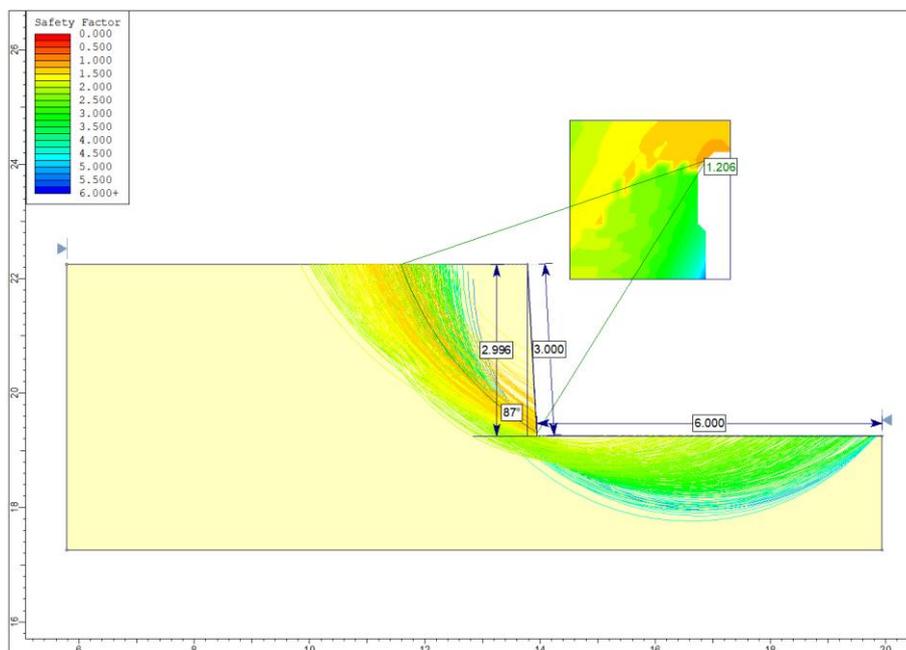
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 1 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 33:** Factor de Seguridad (0.111) del Talud 13 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 1 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 34:** Factor de Seguridad (1.206) del Talud 13 en condiciones estáticas

### 3.5.5.14. Talud 14

Este talud está compuesto por estratos disturbados de roca caliza de la Formación Chúlec, consta también de arcillas y limos.



**Foto 31:** Talud de roca caliza de la Formación Chúlec

**Tabla 42:** Datos del Talud 14

| Ubicación |        | Geometría del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 9 m  |
| 9281022   | 785228 | Longitud de la berma | 12 m |
|           |        | Buzamiento           | 75°  |
| Cota      | 2160m  | Azimut               | 105° |

**Tabla 43:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 14

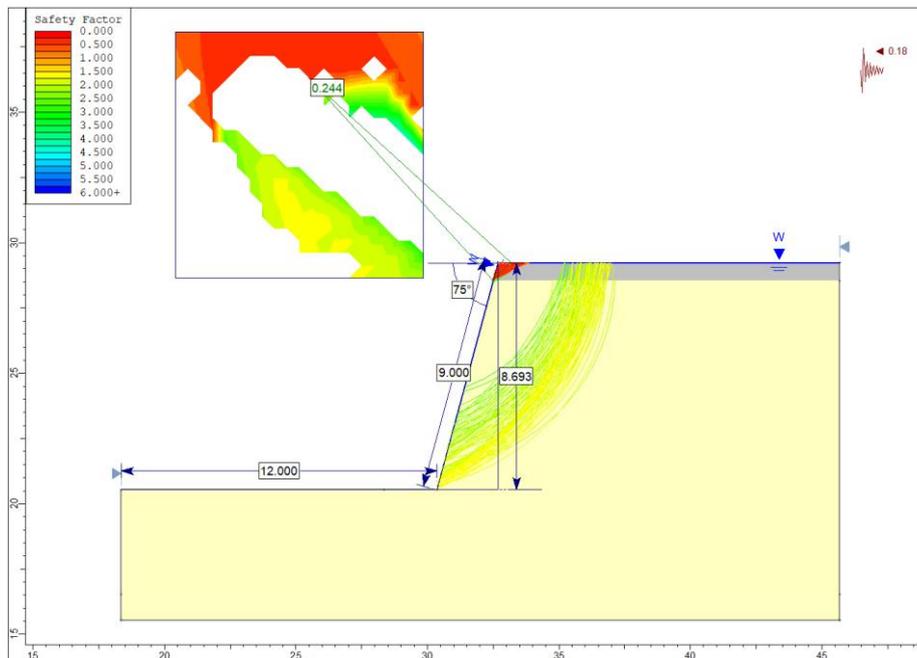
|                              |                  |            |        |
|------------------------------|------------------|------------|--------|
| Clasificación de Hoek-Brown  | sigci            | 28         | MPa    |
|                              | GSI              | 40         |        |
|                              | mi               | 9          |        |
|                              | D                | 0.7        |        |
|                              | Ei               | 25200      |        |
|                              | MR               | 900        |        |
| Criterio Hoek-Brown          | mb               | 0.333045   |        |
|                              | s                | 0.00016731 |        |
|                              | a                | 0.511368   |        |
| Rango de envolvente de falla | Aplicación       | Taludes    |        |
|                              | sig3max          | 0.176232   | MPa    |
|                              | Peso Específico  | 0.023      | MN/m3  |
|                              | Altura del Talud | 8.63       | m      |
| Ajuste de Mohr-Coulomb       | c                | 0.0786734  | MPa    |
|                              | phi              | 46.4921    | Grados |

**Tabla 44:** Parámetros para limos del Talud 14

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.003 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 28°                     |
| Peso Específico    | 0.017 MN/m <sup>3</sup> |

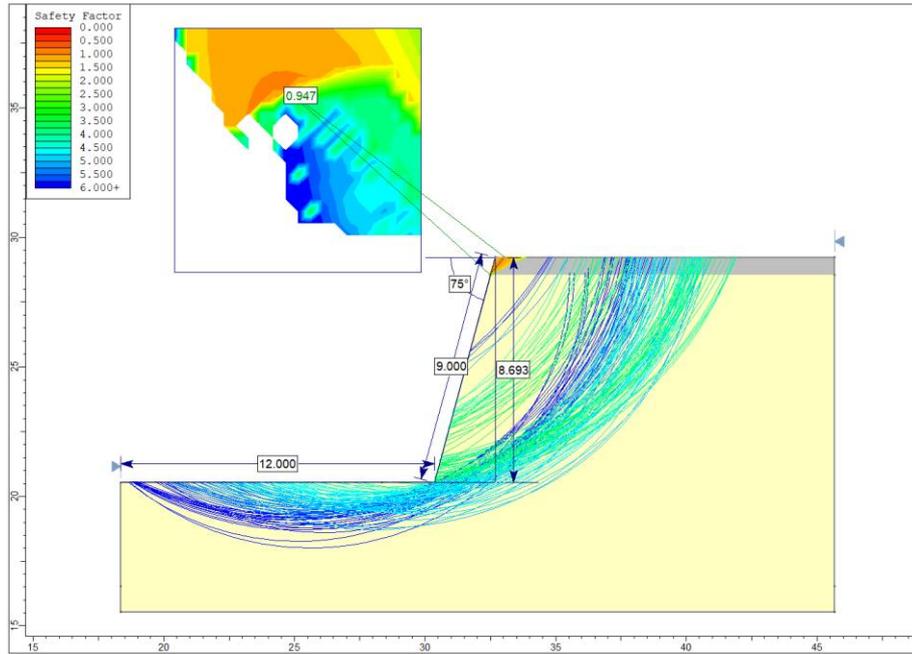
**Fuente:** Tomado de Hoek y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 14 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 35:** Factor de Seguridad (0.244) del Talud 14 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 14 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 36:** Factor de Seguridad (0.947) del Talud 14 en condiciones estáticas

### 3.5.5.15. Talud 15

Este talud está constituido de bloques grandes de calizas margas inmersas en una matriz arcillo-limosa.

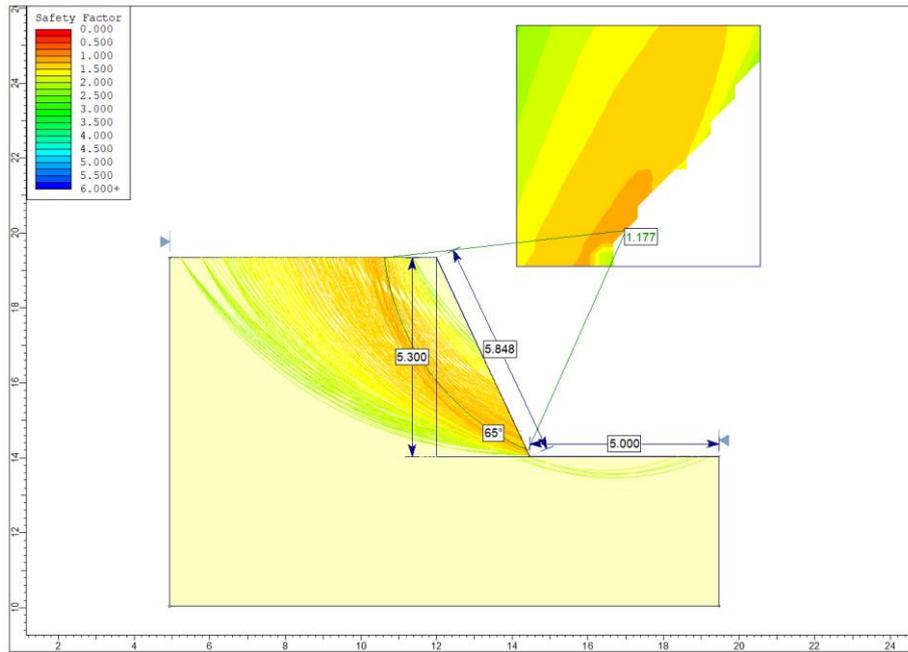


**Foto 32:** Talud de suelo arcillo-limoso y bloques de roca caliza marga

**Tabla 45:** Datos del Talud 15

| Ubicación |        | Geometría del Talud  |      |
|-----------|--------|----------------------|------|
| Norte     | Este   | Altura               | 3 m  |
| 9281026   | 785195 | Longitud de la berma | 14 m |
|           |        | Buzamiento           | 85°  |
| Cota      | 2162m  | Azimut               | 136° |





**Figura 38:** Factor de Seguridad (1.777) del Talud 15 en condiciones estáticas

### 3.5.5.16. Talud 16

Este talud se encuentra en la carretera Paccha-Chadín el en Km 31+100 aproximadamente, está compuesto de delgados estratos de calizas nodulares intercaladas con finas capas de lutitas, además consta de un manto de 40 cm de suelo limo-arcilloso.



**Foto 33:** Calizas nodulares y una capa de suelo limoso en la corona del Talud 16

**Tabla 47:** Datos del Talud 16

| Ubicación |        | Geometría del Talud  |       |
|-----------|--------|----------------------|-------|
| Norte     | Este   | Altura               | 2.8 m |
| 9280977   | 785566 | Longitud de la berma | 8 m   |
|           |        | Buzamiento           | 86°   |
| Cota      | 2222m  | Azimut               | 142°  |

**Tabla 48:** Parámetros obtenidos en RocData V-4.0 para calizas del Talud 16

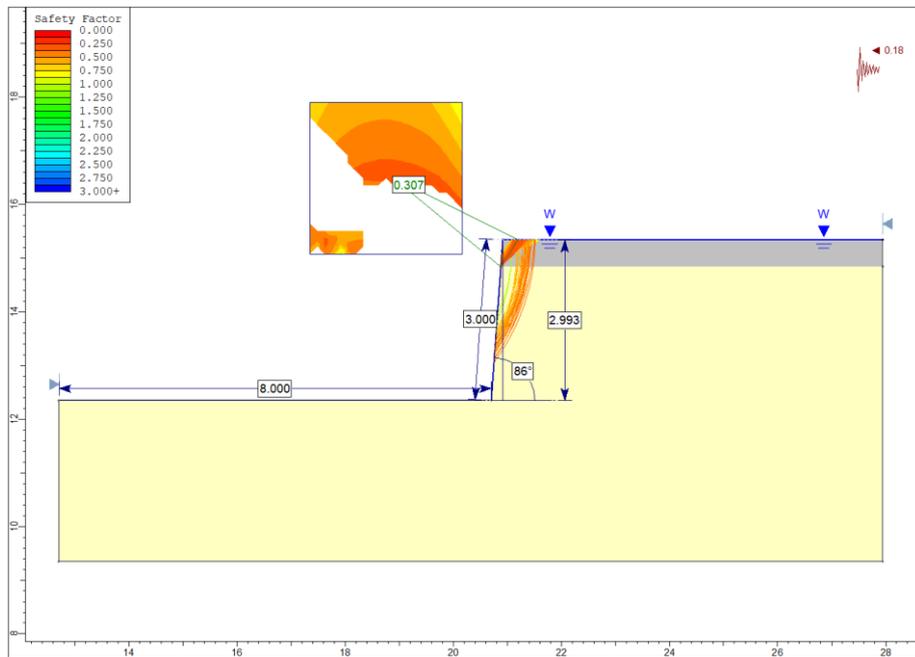
|                              |                  |            |                   |
|------------------------------|------------------|------------|-------------------|
| Clasificación de Hoek-Brown  | sigci            | 30         | MPa               |
|                              | GSI              | 41         |                   |
|                              | mi               | 9          |                   |
|                              | D                | 0.4        |                   |
|                              | Ei               | 27000      |                   |
|                              | MR               | 900        |                   |
| Criterio Hoek-Brown          | mb               | 0.646163   |                   |
|                              | s                | 0.00051874 |                   |
|                              | a                | 0.510622   |                   |
| Rango de envolvente de falla | Aplicación       | Taludes    |                   |
|                              | sig3max          | 0.0724857  | MPa               |
|                              | Peso Específico  | 0.024      | MN/m <sup>3</sup> |
|                              | Altura del Talud | 2.99       | m                 |
| Ajuste de Mohr-Coulomb       | c                | 0.086004   | MPa               |
|                              | phi              | 57.4317    | Grados            |

**Tabla 49:** Parámetros depósitos coluvio-aluviales del Talud 16

| Parámetro          | Valor / Unidad          |
|--------------------|-------------------------|
| Cohesión           | 0.001 Mpa               |
| Ángulo de Fricción | 13°                     |
| Peso Específico    | 0.019 MN/m <sup>3</sup> |

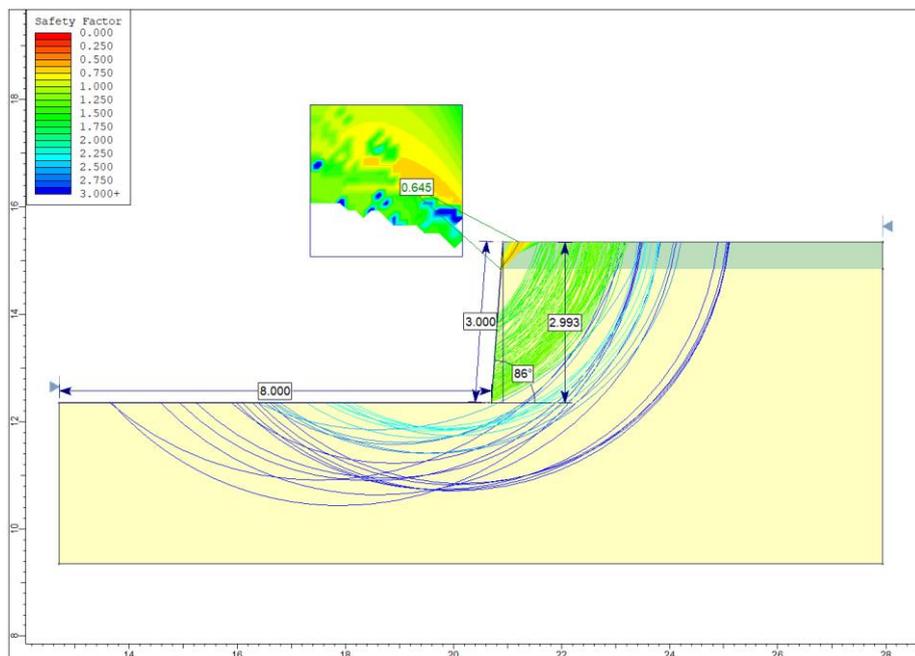
**Fuente:** Tomado de Hoeck y Bray (1981) y de Rodríguez y Serrad (1982)

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 16 en condiciones de sismicidad y saturación usando el Método de Spencer.



**Figura 39:** Factor de Seguridad (0.307) del Talud 16 en condiciones pseudoestáticas y saturadas

Cálculo del Factor de Seguridad en Slide V-6.0 para el Talud 16 en condiciones de estáticas usando el Método de Spencer.



**Figura 40:** Factor de Seguridad (0.645) del Talud 16 en condiciones estáticas

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1.1. Evaluación de la Estabilidad de los Taludes

Para evaluar la estabilidad de los taludes, se consideraron que todos son taludes permanentes puesto que los temporales se utilizan principalmente en minería.

De acuerdo con la norma AASHTO LRFD (Tabla 50) se tiene que un talud permanente es estable cuando su FS es como mínimo de 1.33 en condiciones estáticas sin soportar cargas y con la presencia de cargas es de 1.53 como mínimo, en condiciones sísmicas es estable cuando su FS es como mínimo 1.1.

Los 16 taludes estudiados presentan FS en el rango de 0.646 a 5.736 en condiciones estáticas, mientras que en condiciones pseudoestáticas se encuentran en el rango de 0.495 a 4.235, su clasificación de acuerdo a la AASHTO LRFD se presenta en la Tabla 51.

**Tabla 50:** FS en taludes de acuerdo a la normativa AASHTO LRFD

| Normativa   | Talud Temporal |         | Talud Permanente |         |
|-------------|----------------|---------|------------------|---------|
|             | Estática       | Sísmica | Estática         | Sísmica |
| AASHTO LRFD | 1.33 – 1.53    | 1.1     | 1.33 – 1.53      | 1.1     |

**Fuente:** Revista CIVILIZATE N° 7 (2015), citado en Vivanco (2017)

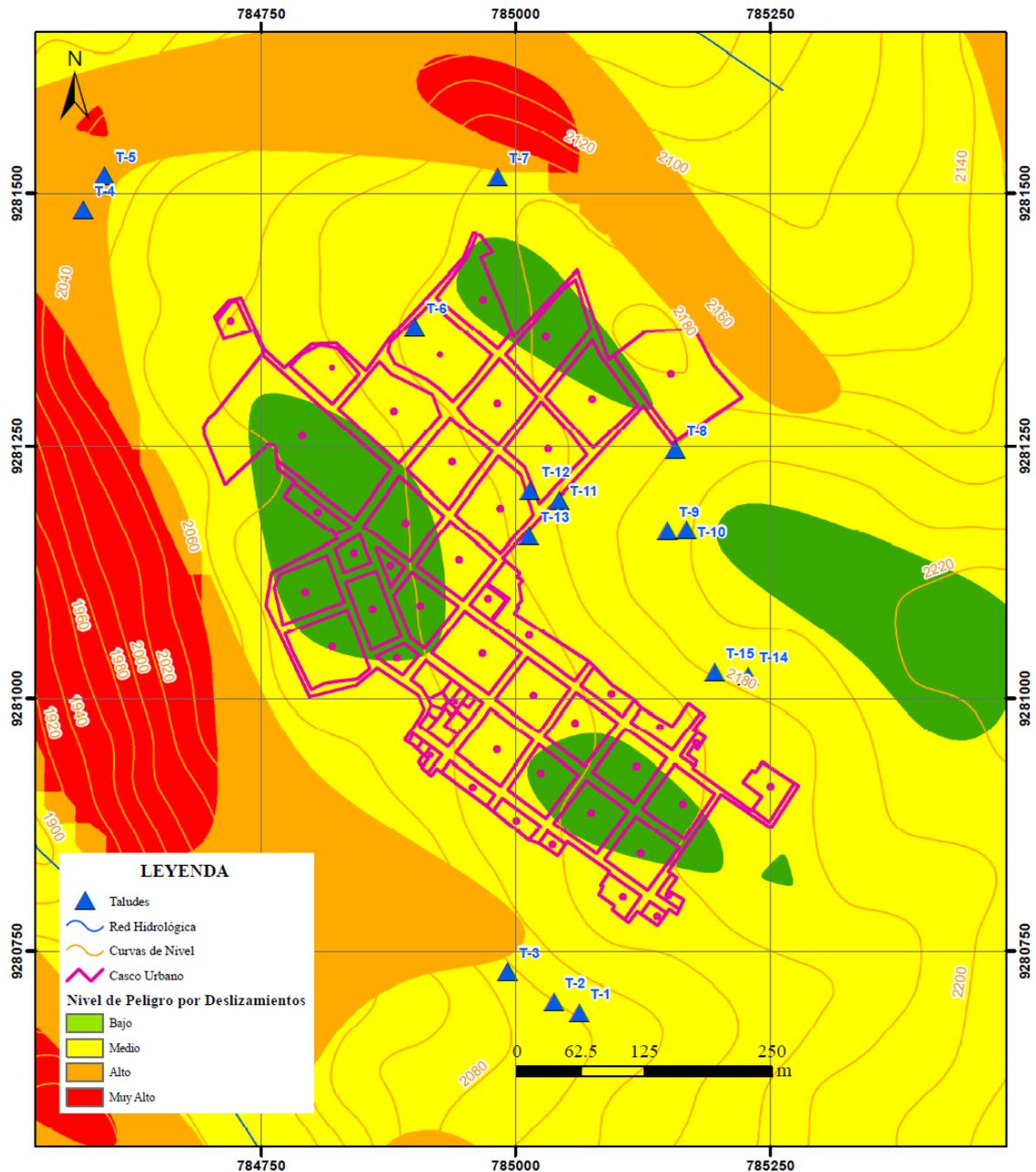
**Tabla 51:** Grado de Estabilidad de los Taludes según su Factor de Seguridad

| N° Talud | Factor de seguridad   |                      | Factor de seguridad                     |                      |
|----------|-----------------------|----------------------|---|----------------------|
|          | Condiciones Estáticas | Grado de Estabilidad | Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas | Grado de Estabilidad |
| Talud 1  | 1.005                 | Inestable            | 0.311                                   | Inestable            |
| Talud 2  | 1.370                 | Estable              | 0.576                                   | Inestable            |
| Talud 3  | 0.786                 | Inestable            | 0.230                                   | Inestable            |
| Talud 4  | 1.441                 | Estable              | 0.571                                   | Inestable            |
| Talud 5  | 1.797                 | Estable              | 0.771                                   | Inestable            |
| Talud 6  | 2.130                 | Estable              | 0.551                                   | Inestable            |
| Talud 7  | 5.397                 | Estable              | 1.929                                   | Estable              |
| Talud 8  | 1.665                 | Estable              | 0.477                                   | Inestable            |
| Talud 9  | 0.863                 | Inestable            | 0.147                                   | Inestable            |
| Talud 10 | 4.421                 | Estable              | 1.804                                   | Estable              |
| Talud 11 | 0.850                 | Inestable            | 0.105                                   | Inestable            |
| Talud 12 | 1.825                 | Estable              | 0.818                                   | Inestable            |
| Talud 13 | 1.206                 | Estable              | 0.111                                   | Inestable            |
| Talud 14 | 0.947                 | Inestable            | 0.244                                   | Inestable            |
| Talud 15 | 1.777                 | Estable              | 0.458                                   | Inestable            |
| Talud 16 | 0.645                 | Inestable            | 0.307                                   | Inestable            |

#### 4.1.2. Relación del Peligro por Deslizamientos con los Taludes Inestables

De la Tabla 47 tenemos que los taludes 1, 3, 9, 11, 14, 16 son inestables tanto en condiciones estáticas como en condiciones pseudoestáticas y saturadas, sin embargo los taludes 2, 4, 5, 6, 8, 12, 13 y 15 son inestables solamente en condiciones pseudoestáticas y saturadas, los 7 y 10 son estables tanto en condiciones estáticas, sísmicas y saturadas, esto se debe a los factores geológicos como la litología, geomorfología y pendiente que al darse las condiciones adecuadas como una litología de rocas duras, poco contenido de suelo arcilloso, relieve de pendientes suaves dan estabilidad al terreno ante deslizamientos, además estos parámetros sirven para elaborar el mapa de peligro por deslizamientos y evidenciar la

relación que presenta los taludes inestables con el nivel de peligro como se muestra en la Figura 41.



**Figura 41:** Nivel de Peligro por Deslizamientos y Ubicación de los Taludes

En la Figura 41 observamos que todos los taludes se encuentran en zona de peligro medio ante deslizamientos, evidenciando la relación entre la inestabilidad de los mismos con el peligro ante un deslizamiento, sin embargo, los taludes 7, 10 tienen factores de seguridad altos y son estables tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas y saturadas, esto se debe a que están compuestos en un 90% de bloques de roca unidos por suelo arcilloso, esto le da mayor consistencia al suelo y por ende estabilidad.

## **4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los factores de seguridad de los taludes analizados varían de acuerdo a la condición estática o pseudoestática y saturada, sin embargo, el talud 3 es inestables en ambas condiciones debido al material limo arcilloso con fragmentos de roca caliza que los componen, en cambio los taludes 1, 9, 11, 14 y 16 presentan inestabilidad en ambas condiciones solamente en la capa limosa.

Los taludes 7 y 10 están compuestos en mayor porcentaje de fragmentos de roca y son estables en ambas condiciones debido a que los fragmentos de roca unidos por el material arcilloso tienen una mayor resistencia a las fuerzas desestabilizantes.

Teniendo claro las condiciones de estabilidad de cada uno de los taludes debemos determinar un área de influencia puesto que en la mayoría de taludes estudiados se habilitaron para construcciones de viviendas, es por ello que se consideró que para una vivienda estándar se necesitan unos 100 metros cuadrados de terraplén, por lo que el área de influencia de la estabilidad del talud debe ser de 10 metros a la redonda como mínimo, es por ello que solamente en los taludes 7 y 10 se cumple tal condición, evidenciando que la mayoría de los taludes en zonas de expansión urbana se encuentran inapropiadas para la construcción.

El mapa de peligros nos muestra un panorama general de todo el distrito, donde podemos observar que las zonas de mayores pendientes o zonas escarpadas están expuestas a un mayor nivel de peligro que las zonas con menor pendiente, además de acuerdo a la geología que se presenta las formaciones competentes como Farrat, deberían ser menos propensas a los deslizamientos, sin embargo se encuentran en gran parte cubiertas por depósitos cuaternarios que son menos resistente ante las fuerzas desestabilizantes y presentan un mayor peligro ante los deslizamientos.

## **4.3. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

La inestabilidad de laderas se determinó en relación al mapa de peligro por deslizamientos y los taludes mediante el factor de seguridad que varía de acuerdo a las condiciones estáticas, sísmicas y de saturación, además de las características geotécnicas del material, es por ello que se comprueba que la hipótesis planteada es correcta.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Mediante el análisis geológico se identificaron las formaciones presentes en el área de investigación y se describió su composición litológica que nos sirvió para el análisis geotécnico donde se determinaron los parámetros necesarios para evaluar la inestabilidad en laderas y taludes.

Se describió la geología y geomorfología de la zona de estudio, que en conjunto con los datos de pendiente obtenidos de una imagen ASTER GDEM, son la base para generar el mapa de peligro por deslizamientos.

Se realizó la clasificación geomecánica GSI en los taludes, de los cuales solamente el talud 7 y 10 cumplen las condiciones para esta clasificación geomecánica debido a que cuentan con mayor porcentaje de fragmentos de roca en su composición.

Se calculó el factor de seguridad en taludes mediante el software Slide V-6.0.

Se clasificó el grado de la estabilidad de acuerdo a los valores del factor de seguridad de los taludes siguiendo lo establecido en la norma AASHTO LRFD.

Se realizó el mapa de peligro por deslizamientos interceptando los parámetros de pendiente, geología y geomorfología con ayuda de la matriz de Saaty (Anexo A, Tabla 71 a la 79) y estableciendo los niveles de peligro de acuerdo con la matriz del Anexo A (Tabla 81).

## **5.2. RECOMENDACIONES**

En el distrito de Paccha, a las autoridades de la Municipalidad se recomienda:

Realizar un seguimiento a las nuevas habilitaciones de terrenos para que cumplan con las condiciones de seguridad y las construcciones de viviendas no se hagan en zonas inestables.

Realizar estudios geofísicos para obtener con precisión la profundidad del nivel freático y de esta manera tener mayor precisión en el cálculo del Factor de Seguridad en los Taludes de las zonas de expansión urbana.

Además, se recomienda realizar un cartografiado de la geología y geomorfología a detalle ya que la extensión del distrito es de 98.15 km<sup>2</sup>, para obtener una mayor precisión en la elaboración del mapa de peligro por deslizamientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, GH. 2011. Cobertura Vegetal y su Uso Actual en el el Departamento de Cajamarca . Gobierno Regional de Cajamarca. Cajamarca, Perú, 44 p.
- Arteaga, N. 2017. Análisis Geológico-Geotécnico en los Taludes de la Carretera Choropampa-Magdalena. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú .80 p.
- Carranza, E. 2024. Análisis Geológico - Geotécnico de Taludes y Laderas en la Expansión Urbana del Centro Poblado Frutillo Bajo, Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, departamento Cajamarca. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú. 160 p.
- CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres). 2019. Informe de Evaluación de Riesgo por Inundación Pluvial en el Sector 1, Distrito de Congas, Provincia de Ocos, Departamento de Ancash. Huaraz. 81 p.
- Chávez, A. 2021. Evaluación de los Riesgos Geológicos en el Centro Poblado la Real, Distrito de Aplao, Provincia de Castilla - Arequipa. Puno, Perú. 137 p.
- Dávila, J. 2011. Diccionario Geológico . Callao, Perú. 901 p.
- Deb, D. y Kumar, A. 2016. Fundamentals and Applications of Rock Mechanics. Deli, India. 489 p.
- Duncan, W. 2018. Rock Slope Engineering Civil Applications. Vancouver, Canada. 590 p.
- Carranza, MR. 2017. Análisis de Inestabilidad de Taludes mediante Equilibrio Límite y Elementos Finitos, Tramo Santa Rosa – Tuco Bajo carretera Bambamarca – Centro Poblado Tuco. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú. 160 p.
- Falconí, A. 2017. Análisis Geotécnico de los Taludes en la carretera Bambamarca-Paccha entre los Kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca, Perú . 207 p.
- Ferré, T. y Warrick, AW. 2005. Encyclopedia of Soils in the Environment. ScienceDirect, 520 p.
- Gonzales de Vallejo, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson. 738 p.

- Hernández, R; Carlos, F; Baptista, M. 2014. Metodología de la Investigación. México: McGRAW-HILL.
- Hoek, E. y Bray, JW. 1981. Rock slope engineering. Londres, England. 221 p.
- Hoek, E; Carranza, C; Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek-Brown – Edición 2002. 4-5 p.
- Hoyos, F. 2001. Diccionario Básico . Medellín, Colombia. 278 p.
- Lambe, W y Whitman, R. 2004. Mecánica de Suelos . México, México. 624 p.
- Escardó, A. 2010. Clima y Cambio Climático . Revista del Aficionado a la Meteorología, 15p.
- McNair, B. 2023. GeologyBase (sitio web) Consultado 23 mar. 2023. Disponible en: <https://geologybase.com/geological-formation/>
- National Geographic. 2022. (sitio web). Consultado 12 oct. 2023. Disponible en <https://education.nationalgeographic.org/resource/precipitation>
- Ramírez, P. y Alejano, L. 2004. Mecánica de Rocas: Fundamentos de la Ingeniería de Taludes. Madrid, España. 345 p.
- Rivera, H. 2005. Geología General. Lima: 438 p.
- Rodríguez, R. 2016. Método de investigación geológico - geotécnico para el análisis de inestabilidad de laderas por deslizamientos zona Ronquillo - Corisorgona. Tesis de maestría en Geología. UNMSM, Perú. 151p.
- Rodríguez, JM. y Serrad, J. 1982. Curso alpicado a la cimentación . Madrid, España. 82 p.
- Avila, J. 2008. Análisis comparativo de los criterios de rotura de Hoek y Brown y Mohr-Coulomb en el estudio de estabilidad en macizos rocosos. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 127 p.
- Rottiers, C. y Gairzhiño, G. 2020. Analizar la estabilidad de laderas de los deslizamientos en suelos arcillosos caso de los poblados de Lutto, Kututo y Llusco, región Cusco. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. 138 p.
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (2020). Consultado el 10 de Mayo de 2022, de <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=mapa-climatico-del-peru>.
- Suárez, J. 1998. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Publicaciones UIS. Bucaramanga, Colombia. 428 p.

- Terán, W.S. 2021. Confiabilidad de la escorrentía generada con el modelo Lutz Scholz, para la microcuenca del Río Llaucano. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú. 192 p.
- Tirado, K. 2018. Evaluación del Riesgo Asociado a la Vulnerabilidad Física por Laderas Inestables en el Tramo de la carretera Cajamarca - Gavilán, 2018. Tesis de Pregrado . Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. 176 p.
- Vivanco, SD. 2017. Análisis de la Estabilidad de Talud en Condiciones Estáticas y Pseudoestáticas de la Ciudad de Huancabamba, Provincia de Huancabamba, Región Piura. Lima, Perú. 16 p.
- Zaeia, M. y Sheshagiri, K. 2017. Evaluating the Effect of Strong Earthquake on Slope Instability. Elsevier. 19 p.

## ANEXOS

### A. Formatos y Tablas de Apoyo

|   |                   |
|---|-------------------|
| Formatos Geológicos – Geotécnicos.....  | Tablas 52 al 67   |
| Peso Unitario, Ángulo de Fricción y Cohesión propuestos por Hoek y Bray (1981).....         | Tabla 68          |
| Tabla para valores de Peso Unitario de Suelos propuestos por Rodríguez y Serrad (1982)..... | Tabla 69          |
| Valores de Cohesión, Ángulo de Fricción y Peso Unitario de los 16 Taludes.....              | Tabla 70          |
| Matriz de Saaty para parámetros de Geomorfología, Geología y Pendiente.....                 | Tablas 71 a la 79 |
| Matriz de Ponderación del Peligro.....  | Tabla 80          |
| Matriz de Peligro.....  | Tabla 81          |

### B. Mapas Temáticos

|  |      |
|--|------|
| Mapa de Ubicación .....                  | M-01 |
| Mapa Geológico .....                     | M-02 |
| Mapa de Unidades Morfogenéticas .....    | M-03 |
| Mapa de Pendientes .....                 | M-04 |
| Mapa de Peligro por Deslizamientos ..... | M-05 |

**Tabla 52:** Estación Geológica-Geotécnica N°1

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°1</b> |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>                             | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>                |  |
| 1.1. Número de Talud                     | Talud 1  |
| 1.2. Coordenadas                         |  |
| 1.2.1. Este                              | 785062   |
| 1.2.2. Norte                             | 9280689  |
| <b>2. Geología</b>                       |  |
| 2.1. Litología                           | Este talud en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha, está conformado por calizas amarillentas y lutitas grisáceas, ambas muy desintegradas formando un suelo de tipo coluvio-aluvial. |
| <b>3. Geotecnia</b>                      |  |
| 3.1. Valor del GSI                       | 40   |
| 3.2. Geometría del Talud                 |  |
| ☐ Altura                                 | 4 m  |
| ☐ Longitud de la berma                   | 6 m  |
| ☐ Buzamiento                             | 75 °   |
| ☐ Azimut                                 | 95 °   |
| <b>3. Fotografía</b>                     |    |
| <b>Observaciones</b>                     | Roca desintegrada  |

**Tabla 53:** Estación Geológica-Geotécnica N°2

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°2</b> |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>                             | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>                |  |
| 1.1. Número de Talud                     | Talud 2  |
| 1.2. Coordenadas                         |  |
| 1.2.1. Este                              | 785037   |
| 1.2.2. Norte                             | 9280700  |
| <b>2. Geología</b>                       |  |
| 2.1. Litología                           | Este talud se encuentra ubicado en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha y está formado por depósitos coluvio-aluviales que consta de suelo arcilloso, limos y fragmentos angulosos de roca caliza. |
| <b>3. Geotecnia</b>                      |  |
| 3.1. Valor del GSI                       | -  |
| 3.2. Geometría del Talud                 |  |
| □ Altura                                 | 3 m  |
| □ Longitud de la berma                   | 7 m  |
| □ Buzamiento                             | 68 °   |
| □ Azimut                                 | 140 °  |
| <b>3. Fotografía</b>                     |    |
| <b>Observaciones</b>                     | -  |

**Tabla 54:** Estación Geológica-Geotécnica N°3

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°3</b>   |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>   | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>  |  |
| 1.1. Número de Talud   | Talud 3  |
| 1.2. Coordenadas   |  |
| 1.2.1. Este  | 784992   |
| 1.2.2. Norte   | 9280730  |
| <b>2. Geología</b>   |  |
| 2.1. Litología   | Este talud se encuentra compuesto principalmente de suelo de limos y arcillas, además en menor proporción de pequeños fragmentos de roca caliza. |
| <b>3. Geotecnia</b>  |  |
| 3.1. Valor del GSI   | -  |
| 3.2. Geometría del Talud   |  |
| □ Altura   | 2.2 m  |
| □ Longitud de la berma   | 6 m  |
| □ Buzamiento   | 65 °   |
| □ Azimut   | 162°   |
| <b>3. Fotografía</b>   |  |
|  |  |
| <b>Observaciones</b>   | -  |

**Tabla 55:** Estación Geológica-Geotécnica N°4

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°4</b> |   |
|--|---|
| <b>Fecha</b>                             | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>                |   |
| 1.1. Número de Talud                     | Talud 4   |
| 1.2. Coordenadas                         |   |
| 1.2.1. Este                              | 785062  |
| 1.2.2. Norte                             | 9280689   |
| <b>2. Geología</b>                       |   |
| 2.1. Litología                           | Este talud se encuentra en el Km 0+600 aproximadamente de la trocha carrozable Paccha – Paccha Baja y está constituido de material cuaternario tipo coluvio-aluvial cuya composición es de una mezcla heterogénea de arcillas y fragmentos de roca caliza marga color crema-amarillento de la Formación Chúlec. |
| <b>3. Geotecnia</b>                      |   |
| 3.1. Valor del GSI                       | -   |
| 3.2. Geometría del Talud                 |   |
| □ Altura                                 | 2.4 m   |
| □ Longitud de la berma                   | 5 m   |
| □ Buzamiento                             | 73°   |
| □ Azimut                                 | 162°  |
| <b>3. Fotografía</b>                     |   |
| <b>Observaciones</b>                     | Talud ubicado en el Km 0+600 de la carretera Paccha-Paccha Baja   |

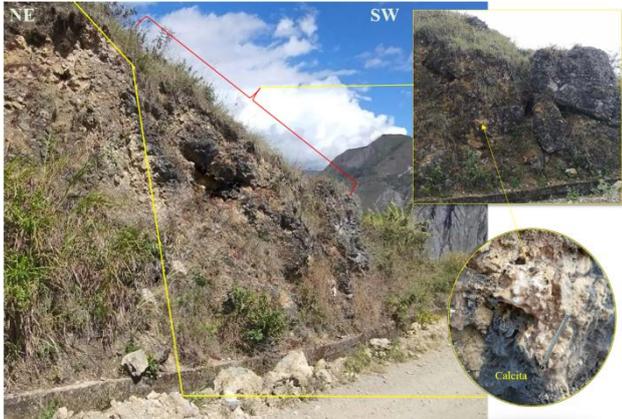
**Tabla 56:** Estación Geológica-Geotécnica N°5

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°5</b>   |   |
|--|---|
| <b>Fecha</b>   | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>  |   |
| 1.1. Número de Talud   | Talud 5   |
| 1.2. Coordenadas   |   |
| 1.2.1. Este  | 784596  |
| 1.2.2. Norte   | 9281518   |
| <b>2. Geología</b>   |   |
| 2.1. Litología   | Este talud se encuentra en el Km 0+630 aproximadamente de la trocha carrozable Paccha – Paccha Baja, el talud se encuentra en un depósito cuaternario que litológicamente está conformado por suelo limo arcilloso con presencia de pequeños fragmentos de lutitas. |
| <b>3. Geotecnia</b>  |   |
| 3.1. Valor del GSI   | -   |
| 3.2. Geometría del Talud   |   |
| □ Altura   | 2.9 m   |
| □ Longitud de la berma   | 5 m   |
| □ Buzamiento   | 66°   |
| □ Azimut   | 235°  |
| <b>3. Fotografía</b>   |   |
|  |   |
| <b>Observaciones</b>   | -   |

**Tabla 57:** Estación Geológica-Geotécnica N°6

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°6</b>   |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>   | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>  |  |
| 1.1. Número de Talud   | Talud 6  |
| 1.2. Coordenadas   |  |
| 1.2.1. Este  | 784901   |
| 1.2.2. Norte   | 9281368  |
| <b>2. Geología</b>   |  |
| 2.1. Litología   | Este talud se encuentra dentro del casco urbano y está constituido de material cuaternario tipo coluvio-aluvial compuesto por suelo arcilloso y fragmentos de roca caliza. |
| <b>3. Geotecnia</b>  |  |
| 3.1. Valor del GSI   | -  |
| 3.2. Geometría del Talud   |  |
| □ Altura   | 1.8 m  |
| □ Longitud de la berma   | 8 m  |
| □ Buzamiento   | 87°  |
| □ Azimut   | 135°   |
| <b>3. Fotografía</b>   |  |
|  |  |
| <b>Observaciones</b>   | -  |

**Tabla 58:** Estación Geológica-Geotécnica N°7

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°7</b> |   |
|--|---|
| <b>Fecha</b>                             | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>                |   |
| 1.1. Número de Talud                     | Talud 7   |
| 1.2. Coordenadas                         |   |
| 1.2.1. Este                              | 784982  |
| 1.2.2. Norte                             | 9281516   |
| <b>2. Geología</b>                       |   |
| 2.1. Litología                           | El talud se encuentra en el Km 30+600 de la carretera Bambamarca-Paccha y se encuentra en material cuaternario tipo coluvio-aluvial compuesto de grandes fragmentos de roca caliza color oscuro, producto de la meteorización biológica, las aguas cargadas de soluciones carbonatadas forman frecuentemente la calcita en las rocas, además en menor proporción encontramos suelo arcilloso. |
| <b>3. Geotecnia</b>                      |   |
| 3.1. Valor del GSI                       | -   |
| 3.2. Geometría del Talud                 |   |
| □ Altura                                 | 4 m   |
| □ Longitud de la berma                   | 5 m   |
| □ Buzamiento                             | 84°   |
| □ Azimut                                 | 265°  |
| <b>3. Fotografía</b>                     |   |
| <b>Observaciones</b>                     | -   |

**Tabla 59:** Estación Geológica-Geotécnica N°8

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°8</b> |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>                             | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>                |  |
| 1.1. Número de Talud                     | Talud 8  |
| 1.2. Coordenadas                         |  |
| 1.2.1. Este                              | 785157   |
| 1.2.2. Norte                             | 9281247  |
| <b>2. Geología</b>                       |  |
| 2.1. Litología                           | Este talud en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha, está conformado por calizas amarillentas y lutitas grisáceas, ambas muy desintegradas formando un suelo de tipo coluvio-aluvial. |
| <b>3. Geotecnia</b>                      |  |
| 3.1. Valor del GSI                       | -  |
| 3.2. Geometría del Talud                 |  |
| □ Altura                                 | 2 m  |
| □ Longitud de la berma                   | 4 m  |
| □ Buzamiento                             | 81°  |
| □ Azimut                                 | 232°   |
| <b>3. Fotografía</b>                     |    |
| <b>Observaciones</b>                     | -  |

**Tabla 60:** Estación Geológica-Geotécnica N°9

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°9</b>   |   |
|--|---|
| <b>Fecha</b>   | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>  |   |
| 1.1. Número de Talud   | Talud 9   |
| 1.2. Coordenadas   |   |
| 1.2.1. Este  | 785149  |
| 1.2.2. Norte   | 9281166   |
| <b>2. Geología</b>   |   |
| 2.1. Litología   | El talud está compuesto por depósitos coluvio-aluviales que contienen fragmentos angulosos a sub-angulosos de roca caliza contenidos en una matriz de suelo de limoso-arcilloso, además cuenta con una capa de 40 cm de limos y materia orgánica. |
| <b>3. Geotecnia</b>  |   |
| 3.1. Valor del GSI   | -   |
| 3.2. Geometría del Talud   |   |
| □ Altura   | 2.9 m   |
| □ Longitud de la berma   | 10 m  |
| □ Buzamiento   | 80°   |
| □ Azimut   | 173°  |
| <b>3. Fotografía</b>   |   |
|  |   |
| <b>Observaciones</b>   | -   |

**Tabla 61:** Estación Geológica-Geotécnica N°10

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°10</b> |  |
|---|--|
| <b>Fecha</b>                              | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>                 |  |
| 1.1. Número de Talud                      | Talud 10   |
| 1.2. Coordenadas                          |  |
| 1.2.1. Este                               | 785167   |
| 1.2.2. Norte                              | 9281167  |
| <b>2. Geología</b>                        |  |
| 2.1. Litología                            | Este talud está compuesto roca totalmente desintegrada con limos y arcillas que se comportan como material cuaternario tipo coluvio-aluvial. |
| <b>3. Geotecnia</b>                       |  |
| 3.1. Valor del GSI                        | -  |
| 3.2. Geometría del Talud                  |  |
| □ Altura                                  | 3 m  |
| □ Longitud de la berma                    | 10 m   |
| □ Buzamiento                              | 80°  |
| □ Azimut                                  | 173°   |
| <b>3. Fotografía</b>                      |    |
| <b>Observaciones</b>                      | Roca desintegrada  |

**Tabla 62:** Estación Geológica-Geotécnica N°11

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°11</b>  |  |
|--|--|
| <b>Fecha</b>   | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>  |  |
| 1.1. Número de Talud   | Talud 11   |
| 1.2. Coordenadas   |  |
| 1.2.1. Este  | 785062   |
| 1.2.2. Norte   | 9280689  |
| <b>2. Geología</b>   |  |
| 2.1. Litología   | Este talud está constituido por depósitos coluvio-aluviales y en su cabecera presenta una capa de 50 cm de suelo limoso. En la cara del talud podemos apreciar el material limo-arcilloso con la presencia de clastos angulosos y mal clasificados de roca caliza. |
| <b>3. Geotecnia</b>  |  |
| 3.1. Valor del GSI   | -  |
| 3.2. Geometría del Talud   |  |
| ☐ Altura   | 3 m  |
| ☐ Longitud de la berma   | 9 m  |
| ☐ Buzamiento   | 86°  |
| ☐ Azimut   | 215°   |
| <b>3. Fotografía</b>   |  |
|  |  |
| <b>Observaciones</b>   | -  |

**Tabla 63:** Estación Geológica-Geotécnica N°12

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°12</b> |   |
|---|---|
| <b>Fecha</b>                              | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>                 |   |
| 1.1. Número de Talud                      | Talud 12  |
| 1.2. Coordenadas                          |   |
| 1.2.1. Este                               | 785014  |
| 1.2.2. Norte                              | 9281206   |
| <b>2. Geología</b>                        |   |
| 2.1. Litología                            | Este talud está formado por material coluvio-aluvial que ha experimentado un transporte mínimo, como se evidencia en los fragmentos de roca caliza angulosa y incrustados en una matriz limo-arcillosa. |
| <b>3. Geotecnia</b>                       |   |
| 3.1. Valor del GSI                        | -   |
| 3.2. Geometría del Talud                  |   |
| □ Altura                                  | 1.9 m   |
| □ Longitud de la berma                    | 6 m   |
| □ Buzamiento                              | 72°   |
| □ Azimut                                  | 130°  |
| <b>3. Fotografía</b>                      |   |
| <b>Observaciones</b>                      | -   |

**Tabla 64:** Estación Geológica-Geotécnica N°13

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°13</b> |   |
|---|---|
| <b>Fecha</b>                              | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>                 |   |
| 1.1. Número de Talud                      | Talud 13  |
| 1.2. Coordenadas                          |   |
| 1.2.1. Este                               | 785013  |
| 1.2.2. Norte                              | 9281161   |
| <b>2. Geología</b>                        |   |
| 2.1. Litología                            | Este talud se encuentra localizado al margen derecho de las gradas camino al Estadio Municipal, está compuesto por material cuaternario tipo coluvio – aluvial que contiene suelo limo-arcilloso con fragmentos sub-angulosos de roca caliza. |
| <b>3. Geotecnia</b>                       |   |
| 3.1. Valor del GSI                        | -   |
| 3.2. Geometría del Talud                  |   |
| □ Altura                                  | 2.8 m   |
| □ Longitud de la berma                    | 6 m   |
| □ Buzamiento                              | 87°   |
| □ Azimut                                  | 215°  |
| <b>3. Fotografía</b>                      |   |
| <b>Observaciones</b>                      | -   |

**Tabla 65:** Estación Geológica-Geotécnica N°14

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°14</b>   |  |
|---|--|
| <b>Fecha</b>  | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>   |  |
| 1.1. Número de Talud  | Talud 14   |
| 1.2. Coordenadas  |  |
| 1.2.1. Este   | 785228   |
| 1.2.2. Norte  | 9281022  |
| <b>2. Geología</b>  |  |
| 2.1. Litología  | Este talud en el Km 29+800 de la carretera Bambamarca-Paccha, está conformado por calizas amarillentas y lutitas grisáceas, ambas muy desintegradas formando un suelo de tipo coluvio-aluvial. |
| <b>3. Geotecnia</b>   |  |
| 3.1. Valor del GSI  | 40   |
| 3.2. Geometría del Talud  |  |
| □ Altura  | 9 m  |
| □ Longitud de la berma  | 12 m   |
| □ Buzamiento  | 75°  |
| □ Azimut  | 105°   |
| <b>3. Fotografía</b>  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <span>SE</span> <span>NW</span> </div>  |  |
| <b>Observaciones</b>  | Roca desintegrada  |

**Tabla 66:** Estación Geológica-Geotécnica N°15

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°15</b> |   |
|---|---|
| <b>Fecha</b>                              | 09/10/2023  |
| <b>1. Datos Generales</b>                 |   |
| 1.1. Número de Talud                      | Talud 15  |
| 1.2. Coordenadas                          |   |
| 1.2.1. Este                               | 785195  |
| 1.2.2. Norte                              | 9281026   |
| <b>2. Geología</b>                        |   |
| 2.1. Litología                            | Este talud está constituido de bloques grandes de calizas margas inmersas en una matriz arcillo-limosa. |
| <b>3. Geotecnia</b>                       |   |
| 3.1. Valor del GSI                        | -   |
| 3.2. Geometría del Talud                  |   |
| □ Altura                                  | 3 m   |
| □ Longitud de la berma                    | 14 m  |
| □ Buzamiento                              | 85°   |
| □ Azimut                                  | 136°  |
| <b>3. Fotografía</b>                      |                     |
| <b>Observaciones</b>                      | -   |

**Tabla 67:** Estación Geológica-Geotécnica N°16

| <b>Estación Geológica-Geotécnica N°16</b> |  |
|---|--|
| <b>Fecha</b>                              | 09/10/2023   |
| <b>1. Datos Generales</b>                 |  |
| 1.1. Número de Talud                      | Talud 16   |
| 1.2. Coordenadas                          |  |
| 1.2.1. Este                               | 785566   |
| 1.2.2. Norte                              | 9280977  |
| <b>2. Geología</b>                        |  |
| 2.1. Litología                            | Este talud se encuentra en la carretera Paccha-Chadín el en Km 31+100 aproximadamente, está compuesto de delgados estratos de calizas nodulares intercaladas con finas capas de lutitas, además consta de un manto de 40 cm de suelo limo-arcilloso. |
| <b>3. Geotecnia</b>                       |  |
| 3.1. Valor del GSI                        | 41   |
| 3.2. Geometría del Talud                  |  |
| □ Altura                                  | 2.8 m  |
| □ Longitud de la berma                    | 8 m  |
| □ Buzamiento                              | 86°  |
| □ Azimut                                  | 142°   |
| <b>3. Fotografía</b>                      |    |
| <b>Observaciones</b>                      | Roca desintegrada  |

**Tabla 68:** Valores de Peso Unitario, Ángulo de Fricción y Cohesión

| Tipo de suelo | Descripción                               | Peso específico | Angulo de fricción (°) | Cohesión (MPa) |
|---------------|---|-----------------|------------------------|----------------|
| Sin cohesión  | Arena suelta, tamaño de grano uniforme    | 19              | 28-34                  |                |
|               | Arena densa, tamaño de grano uniforme     | 22              | 32-40                  |                |
|               | Arena suelta, diferentes tamaños de grano | 20              | 34-40                  |                |
|               | Arena densa, diferentes tamaños de grano  | 21              | 38-46                  |                |
|               | Grava, tamaño de grano uniforme           | 22              | 34-37                  |                |
|               | Arena y grava, mezcla de tamaños          | 19              | 48-45                  |                |
|               | Roca fracturada o volada: Basalto         | 22              | 40-50                  |                |
|               | Roca fracturada o volada: Granito         | 20              | 45-50                  |                |
|               | Roca fracturada o volada: Limolita        | 19              | 35-40                  |                |
|               | Roca fracturada o volada: Arenisca        | 17              | 35-45                  |                |
|               | Roca fracturada o volada: Lulitas         | 20              | 30-35                  |                |
| Cohesivos     | Montmorillonita                           | 13              | 7-13                   | 0.01 - 0.02    |
|               | Arcilla orgánica muy blanda               | 14              | 12-16                  | 0.01 - 0.03    |
|               | Arcilla blanda ligeramente orgánica       | 16              | 22-27                  | 0.02 - 0.05    |
|               | Arcilla glaciár blanda                    | 17              | 27-32                  | 0.03 - 0.07    |
|               | Arcilla glaciár rígida                    | 20              | 30-32                  | 0.07 - 0.15    |
|               | Granito, basalto, pórfidos                | 25              | 35-45                  | 35 - 55        |
|               | Cuarcita, gneis, pizarras                 | 25              | 30-40                  | 20 - 40        |
|               | Limolitas, calizas, arenisca              | 23              | 34-45                  | 10 - 30        |
|               | Arenisca, carbón, lutita.                 | 17              | 25-35                  | 1 - 20         |

**Fuente:** (Hoeck y Bray , 1981)

**Tabla 69:** Tabla para Valores de Peso Unitario de Suelos

| TIPO DE SUELO   | PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO |       |                      |    |     |                 |                |               |                |     |                |                       |                      |      |         |               |
|---|--------------------------------------|-------|----------------------|----|-----|-----------------|----------------|---------------|----------------|-----|----------------|-----------------------|----------------------|------|---------|---------------|
|   | GRANULOMETRÍA                        |       | LÍMITE DE ATTEMBERG  |    |     | PESO ESPECÍFICO |                | HUMD. NATURAL | PROCTOR NORMAL |     | DEFORMABILIDAD |                       | RESISTENCIA AL CORTE |      |         | PERMEABILIDAD |
|   | <0.06                                | <2.00 | (fracción < 0.04 mm) |    |     | $\gamma$        | $\gamma_{sum}$ | W             | D. Seca        | wpm | Es=EO          | ( $\sigma/\sigma_t$ ) | $\Phi$               | c    | $\Phi'$ | D             |
|   | mm                                   | mm    | wL                   | wP | lp  | T/m3            | T/m3           | %             | T/m3           | %   | Es Kp/cm2      | $\alpha$              | (°)                  | T/m2 | (°)     | m/s           |
| Grava   | <5                                   | <60   | -                    | -  | -   | 1.6             | 0.95           | 5             | 1.7            | 8   | 400            | 0.6                   | 34                   | -    | 32      | 2.00E-01      |
|   |                                      |       | -                    | -  | -   | 1.9             | 1.05           | 2             | 1.9            | 5   | 900            | 0.4                   | 42                   | -    | 35      | 1.00E-02      |
| Grava arenosa con pocos finos   | <5                                   | <60   | -                    | -  | -   | 2.1             | 1.15           | 7             | 2              | 7   | 400            | 0.7                   | 35                   | -    | 32      | 1.00E-02      |
|   |                                      |       | -                    | -  | -   | 2.3             | 1.35           | 13            | 2.25           | 4   | 1100           | 0.5                   | 45                   | -    | 35      | 1.00E-06      |
| Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura | 8                                    | <60   | 20                   | 16 | 4   | 2.1             | 1.15           | 9             | 2.1            | 7   | 400            | 0.7                   | 35                   | 1    | 32      | 1.90E-09      |
|   | 15                                   |       | 45                   | 25 | 25  | 2.4             | 1.45           | 3             | 2.35           | 3   | 1200           | 0.5                   | 43                   | 0    | 35      | 1.00E-08      |
| Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos                             | 20                                   | <60   | 20                   | 16 | 4   | 2               | 1.05           | 13            | 1.9            | 10  | 150            | 0.9                   | 28                   | 3    | 22      | 1.00E-09      |
|   | 40                                   |       | 50                   | 25 | 30  | 2.25            | 1.3            | 5             | 2.2            | 5   | 400            | 0.7                   | 35                   | 0.5  | 30      | 1.00E-11      |
| Arena uniforme fina   | <5                                   | <100  | -                    | -  | -   | 1.6             | 0.95           | 22            | 1.6            | 15  | 150            | 0.75                  | 32                   | -    | 30      | 2.00E-04      |
|   |                                      |       | -                    | -  | -   | 1.9             | 1.1            | 8             | 1.75           | 10  | 300            | 0.6                   | 40                   | -    | 22      | 1.00E-03      |
| Arena uniforme gruesa   | <5                                   | <100  | -                    | -  | -   | 1.6             | 0.95           | 16            | 1.6            | 13  | 250            | 0.7                   | 34                   | -    | 30      | 5.00E-03      |
|   |                                      |       | -                    | -  | -   | 1.9             | 1.1            | 8             | 1.75           | 8   | 700            | 0.55                  | 42                   | -    | 34      | 2.00E-04      |
| Arena bien graduada y arena con grava                                     | <5                                   | <100  | -                    | -  | -   | 1.8             | 1              | 11            | 1.9            | 10  | 200            | 0.7                   | 33                   | -    | 32      | 5.00E-04      |
|   |                                      |       | -                    | -  | -   | 2.1             | 1.2            | 5             | 2.15           | 6   | 600            | 0.55                  | 41                   | -    | 34      | 2.00E-03      |
| Arena con finos que no alteran la estructura granular                     | 8                                    | >60   | 20                   | 16 | 4   | 2.9             | 1.05           | 15            | 2              | 13  | 150            | 0.8                   | 32                   | 1    | 30      | 1.00E-03      |
|   | 15                                   |       | 45                   | 25 | 25  | 2.25            | 1.3            | 4             | 2.2            | 7   | 500            | 0.65                  | 40                   | 0    | 32      | 1.00E-07      |
| Arena con finos que alteran la estructura granular                        | 20                                   | >60   | 20                   | 16 | 4   | 1.8             | 0.9            | 20            | 1.7            | 18  | 50             | 0.9                   | 25                   | 5    | 22      | 1.00E-07      |
|   | 40                                   |       | 50                   | 30 | 30  | 2.15            | 1.1            | 8             | 2              | 12  | 250            | 0.75                  | 32                   | 1    | 30      | 1.00E-10      |
| Limo poco plástico  | >50                                  | >80   | 25                   | 20 | 4   | 1.75            | 0.95           | 28            | 1.6            | 22  | 40             | 0.8                   | 28                   | 2    | 25      | 1.00E-04      |
|   |                                      |       | 35                   | 28 | 11  | 2.1             | 1.1            | 15            | 1.8            | 15  | 110            | 0.6                   | 35                   | 0.5  | 30      | 5.00E-06      |
| Limo de plasticidad media a alta  | >80                                  | >100  | 35                   | 22 | 7   | 1.7             | 0.85           | 35            | 1.55           | 23  | 30             | 0.9                   | 25                   | 3    | 22      | 2.00E-05      |
|   |                                      |       | 50                   | 25 | 20  | 2               | 1.05           | 20            | 1.75           | 16  | 70             | 0.7                   | 33                   | 1    | 29      | 2.00E-06      |
| Arcilla de baja plasticidad   | >80                                  | 100   | 25                   | 15 | 7   | 1.9             | 0.95           | 28            | 1.65           | 20  | 20             | 1                     | 24                   | 6    | 20      | 1.00E-07      |
|   |                                      |       | 35                   | 22 | 16  | 2.2             | 1.2            | 14            | 1.85           | 14  | 50             | 0.9                   | 32                   | 1.5  | 28      | 2.00E-09      |
| Arcilla de plasticidad media  | >90                                  | 100   | 40                   | 18 | 16  | 1.8             | 0.85           | 38            | 1.55           | 23  | 10             | 1                     | 20                   | 8    | 10      | 5.00E-06      |
|   |                                      |       | 50                   | 25 | 28  | 2.1             | 1.1            | 18            | 1.75           | 17  | 30             | 0.95                  | 30                   | 2    | 20      | 1.00E-10      |
| Arcilla de alta plasticidad   | 100                                  | 100   | 60                   | 20 | 33  | 1.65            | 0.7            | 55            | 1.45           | 27  | 6              | 1                     | 17                   | 10   | 6       | 1.00E-09      |
|   |                                      |       | 85                   | 35 | 55  | 2               | 1              | 20            | 1.65           | 20  | 20             | 1                     | 27                   | 3    | 15      | 1.00E-11      |
| Limo o arcilla orgánicos  | >80                                  | 100   | 45                   | 30 | 10  | 1.55            | 0.55           | 60            | 1.45           | 27  | 5              | 1                     | 20                   | 7    | 15      | 1.00E-09      |
|   |                                      |       | 70                   | 45 | 30  | 1.9             | 0.9            | 30            | 1.7            | 18  | 20             | 0.8                   | 26                   | 2    | 22      | 1.00E-11      |
| Turba   | -                                    | -     | -                    | -  | -   | 1.04            | 0.04           | 800           | -              | -   | 3              | 1                     | 25                   | 1.5  | -       | 1.00E-05      |
|   | -                                    | -     | -                    | -  | -   | 1.3             | 0.3            | 100           | -              | -   | 8              | 1                     | 30                   | 0.5  | -       | 1.00E-09      |
| Fango   | -                                    | -     | 100                  | 30 | 50  | 1.23            | 0.25           | 200           | -              | -   | 4              | 1                     | 22                   | 2    | -       | 1.00E-07      |
|   | -                                    | -     | 250                  | 80 | 170 | 1.6             | 0.6            | 50            | -              | -   | 15             | 0.9                   | 28                   | 0.5  | -       | 1.00E-08      |

Fuente: (Rodríguez y Serrad , 1982)

**Tabla 70:** Valores de Cohesión, Ángulo de Fricción y Peso Unitario de los 16 Taludes

| <b>N° Talud</b> | <b>Cohesión MPa</b> | <b>Ángulo de Fricción (°)</b> | <b>Peso Unitario MN/m<sup>3</sup></b> | <b>Tipo de Material</b> |
|-----------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1               | 0.097               | 55                            | 0.026                                 | Cuaternarios            |
| 1               | 0.031               | 45                            | 0.022                                 | Cuaternarios            |
| 2               | 0.008               | 29                            | 0.018                                 | Cuaternarios            |
| 3               | 0.002               | 27                            | 0.017                                 | Cuaternarios            |
| 4               | 0.008               | 30                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 5               | 0.010               | 30                            | 0.018                                 | Cuaternarios            |
| 6               | 0.010               | 34                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 7               | 0.055               | 52                            | 0.023                                 | Cuaternarios            |
| 8               | 0.008               | 34                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 9               | 0.002               | 27                            | 0.018                                 | Cuaternarios            |
| 9               | 0.008               | 34                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 10              | 0.040               | 49                            | 0.024                                 | Cuaternarios            |
| 11              | 0.001               | 28                            | 0.019                                 | Cuaternarios            |
| 11              | 0.008               | 35                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 12              | 0.008               | 28                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 13              | 0.008               | 34                            | 0.021                                 | Cuaternarios            |
| 14              | 0.079               | 46                            | 0.023                                 | Cuaternarios            |
| 15              | 0.008               | 34                            | 0.023                                 | Cuaternarios            |
| 16              | 0.086               | 57                            | 0.024                                 | Cuaternarios            |
| 16              | 0.001               | 13                            | 0.019                                 | Cuaternarios            |

**Tabla 71:** Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfología

| <b>Matriz de comparación de pares del parámetro geomorfología</b> |              |            |              |           |           |
|---|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|
| <b>Unidad Geomorfológica</b>                                      | <b>V- cd</b> | <b>RCL</b> | <b>PI-AL</b> | <b>TI</b> | <b>RM</b> |
| <b>Piedemonte coluvio-deluvial</b>                                | 1            | 3          | 5            | 6         | 9         |
| <b>Colina y Lomada</b>  | 0.33         | 1          | 3            | 5         | 6         |
| <b>Cauce, Llanura o planicie aluvial</b>                          | 0.2          | 0.33       | 1            | 3         | 5         |
| <b>Terrazas</b>   | 0.17         | 0.2        | 0.33         | 1         | 3         |
| <b>Montañas</b>   | 0.11         | 0.17       | 0.2          | 0.33      | 1         |
| <b>SUMA</b>   | 1.81         | 4.7        | 9.53         | 15.33     | 24        |
| <b>1/SUMA</b>   | 0.55         | 0.21       | 0.1          | 0.07      | 0.04      |

**Tabla 72:** Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfología

| <b>Matriz de normalización de pares del parámetro geomorfología</b> |              |            |              |           |           |                            |            |
|---|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|----------------------------|------------|
| <b>Unidad Geomorfológica</b>  | <b>V- cd</b> | <b>RCL</b> | <b>PI-AL</b> | <b>TI</b> | <b>RM</b> | <b>Vector priorización</b> | <b>%</b>   |
| <b>Piedemonte coluvio-deluvial</b>                                  | 0.55         | 0.64       | 0.52         | 0.39      | 0.38      | 0.496                      | 49.62      |
| <b>Colina y Lomada</b>  | 0.18         | 0.21       | 0.31         | 0.33      | 0.25      | 0.258                      | 25.75      |
| <b>Cauce, Llanura o planicie aluvial</b>                            | 0.11         | 0.07       | 0.1          | 0.2       | 0.21      | 0.138                      | 13.8       |
| <b>Terrazas</b>   | 0.09         | 0.04       | 0.03         | 0.07      | 0.13      | 0.072                      | 7.2        |
| <b>Montañas</b>   | 0.06         | 0.04       | 0.02         | 0.02      | 0.04      | 0.036                      | 3.62       |
|   |              |            |              |           |           | <b>1</b>                   | <b>100</b> |

**Tabla 73:** Matriz de relación de consistencia del parámetro geomorfología

| <b>Matriz de relación de consistencia del parámetro geomorfología</b> |              |            |              |           |           |                              |                                  |
|---|--------------|------------|--------------|-----------|-----------|------------------------------|----------------------------------|
| <b>Unidad Geomorfológica</b>  | <b>V- cd</b> | <b>RCL</b> | <b>PI-AL</b> | <b>TI</b> | <b>RM</b> | <b>Vector suma ponderada</b> | <b><math>\lambda</math> máx.</b> |
| <b>Piedemonte coluvio-deluvial</b>                                    | 0.5          | 0.77       | 0.69         | 0.43      | 0.33      | 2.72                         | 5.47                             |
| <b>Colina y Lomada</b>  | 0.17         | 0.26       | 0.41         | 0.36      | 0.22      | 1.41                         | 5.49                             |
| <b>Cauce, Llanura o planicie aluvial</b>                              | 0.1          | 0.09       | 0.14         | 0.22      | 0.18      | 0.72                         | 5.22                             |
| <b>Terrazas</b>   | 0.08         | 0.05       | 0.05         | 0.07      | 0.11      | 0.36                         | 5.02                             |
| <b>Montañas</b>   | 0.06         | 0.04       | 0.03         | 0.02      | 0.04      | 0.19                         | 5.13                             |
|   |              |            |              |           |           | <b>Suma</b>                  | <b>26.33</b>                     |
|   |              |            |              |           |           | <b>Promedio</b>              | <b>5.27</b>                      |

**Tabla 74:** Matriz de comparación de pares del parámetro geología

| <b>Matriz de comparación de pares del parámetro geología</b> |            |              |              |              |              |  |
|--|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| <b>Geología</b>  | <b>D-a</b> | <b>Kms-q</b> | <b>Ks-sr</b> | <b>Ki-ph</b> | <b>Kim-h</b> |  |
| <b>Dep. Aluviales</b>  | 1          | 3            | 5            | 7            | 9            |  |
| <b>Volc. Huarangal</b>                                       | 0.33       | 1            | 3            | 5            | 7            |  |
| <b>Super Unidad Santa Rosa</b>                               | 0.2        | 0.33         | 1            | 3            | 5            |  |
| <b>Fm. Pamplon, Atocongo y Paríamarca</b>                    | 0.14       | 0.2          | 0.33         | 1            | 3            |  |
| <b>Volc. Quimami</b>   | 0.11       | 0.14         | 0.2          | 0.33         | 1            |  |
| <b>SUMA</b>  | 1.79       | 4.68         | 9.53         | 16.33        | 25           |  |
| <b>1/SUMA</b>  | 0.56       | 0.21         | 0.1          | 0.06         | 0.04         |  |

**Tabla 75:** Matriz de normalización de pares del parámetro geología

| <b>Matriz de normalización de pares del parámetro geología</b> |            |              |              |              |              |                               |            |
|--|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|------------|
| <b>Geología</b>  | <b>D-a</b> | <b>Kms-q</b> | <b>Ks-sr</b> | <b>Ki-ph</b> | <b>Kim-h</b> | <b>Vector de priorización</b> | <b>%</b>   |
| <b>Dep. Aluviales</b>  | 0.56       | 0.64         | 0.52         | 0.43         | 0.36         | 0.503                         | 50.28      |
| <b>Volc. Huarangal</b>   | 0.19       | 0.21         | 0.31         | 0.31         | 0.28         | 0.26                          | 26.02      |
| <b>Super Unidad Santa Rosa</b>                                 | 0.11       | 0.07         | 0.1          | 0.18         | 0.2          | 0.134                         | 13.44      |
| <b>Fm. Pamplon, Atocongo y Pariamarca</b>                      | 0.08       | 0.04         | 0.03         | 0.06         | 0.12         | 0.068                         | 6.78       |
| <b>Volc. Quimami</b>   | 0.06       | 0.03         | 0.02         | 0.02         | 0.04         | 0.035                         | 3.48       |
|  |            |              |              |              |              | <b>1</b>                      | <b>100</b> |

**Tabla 76:** Matriz de relación de consistencia del parámetro geología

| <b>Matriz de relación de consistencia del parámetro geología</b> |            |              |              |              |              |                                 |              |
|--|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| <b>Geología</b>  | <b>D-a</b> | <b>Kms-q</b> | <b>Ks-sr</b> | <b>Ki-ph</b> | <b>Kim-h</b> | <b>Vector de suma ponderada</b> | <b>%</b>     |
| <b>Dep. Aluviales</b>  | 0.5        | 0.78         | 0.67         | 0.47         | 0.31         | 2.74                            | 5.46         |
| <b>Volc. Huarangal</b>   | 0.17       | 0.26         | 0.4          | 0.34         | 0.24         | 1.41                            | 5.43         |
| <b>Super Unidad Santa Rosa</b>                                   | 0.1        | 0.09         | 0.13         | 0.2          | 0.17         | 0.7                             | 5.2          |
| <b>Fm. Pamplon, Atocongo y Pariamarca</b>                        | 0.07       | 0.05         | 0.04         | 0.07         | 0.1          | 0.34                            | 5.03         |
| <b>Volc. Quimami</b>   | 0.06       | 0.04         | 0.03         | 0.02         | 0.03         | 0.18                            | 5.09         |
|  |            |              |              |              |              | <b>Suma</b>                     | <b>26.21</b> |
|  |            |              |              |              |              | <b>Promedio</b>                 | <b>5.24</b>  |

**Tabla 77:** Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente

| <b>Matriz de comparación de pares del parámetro pendiente</b> |                |               |               |              |             |
|---|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|
| <b>Pendiente</b>  | <b>&gt;45%</b> | <b>25-45%</b> | <b>15-25%</b> | <b>5-15%</b> | <b>0-5%</b> |
| <b>Muy Alta</b>   | 1              | 3             | 5             | 6            | 9           |
| <b>Alta</b>   | 0.33           | 1             | 3             | 5            | 6           |
| <b>Moderada</b>   | 0.2            | 0.33          | 1             | 3            | 5           |
| <b>Baja</b>   | 0.17           | 0.2           | 0.33          | 1            | 3           |
| <b>Muy Baja</b>   | 0.11           | 0.17          | 0.2           | 0.33         | 1           |
| <b>SUMA</b>   | 1.81           | 4.7           | 9.53          | 15.33        | 24          |
| <b>1/SUMA</b>   | 0.55           | 0.21          | 0.1           | 0.07         | 0.04        |

**Tabla 78:** Matriz de normalización de pares del parámetro pendiente

| <b>Matriz de normalización de pares del parámetro pendiente</b> |                |               |               |              |             |                               |            |
|---|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------------------------|------------|
| <b>Pendiente</b>  | <b>&gt;45%</b> | <b>25-45%</b> | <b>15-25%</b> | <b>5-15%</b> | <b>0-5%</b> | <b>Vector de priorización</b> | <b>%</b>   |
| <b>Muy Alta</b>   | 0.55           | 0.64          | 0.52          | 0.39         | 0.38        | 0.496                         | 46.62      |
| <b>Alta</b>   | 0.18           | 0.21          | 0.31          | 0.33         | 0.25        | 0.258                         | 25.75      |
| <b>Moderada</b>   | 0.2            | 0.33          | 0.1           | 0.2          | 0.21        | 0.138                         | 13.8       |
| <b>Baja</b>   | 0.09           | 0.04          | 0.03          | 0.07         | 0.13        | 0.072                         | 7.2        |
| <b>Muy Baja</b>   | 0.06           | 0.04          | 0.02          | 0.02         | 0.04        | 0.036                         | 3.62       |
|   |                |               |               |              |             | <b>1</b>                      | <b>100</b> |

**Tabla 79:** Matriz de consistencia del parámetro pendiente

| <b>Matriz de consistencia del parámetro pendiente</b> |                |               |               |              |             |                              |                                 |
|---|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------|------------------------------|---------------------------------|
| <b>Pendiente</b>                                      | <b>&gt;45%</b> | <b>25-45%</b> | <b>15-25%</b> | <b>5-15%</b> | <b>0-5%</b> | <b>Vector suma ponderada</b> | <b><math>\lambda</math> max</b> |
| <b>Muy Alta</b>                                       | 0.55           | 0.77          | 0.69          | 0.43         | 0.33        | 2.72                         | 5.47                            |
| <b>Alta</b>   | 0.17           | 0.26          | 0.41          | 0.36         | 0.22        | 1.41                         | 5.49                            |
| <b>Moderada</b>                                       | 0.1            | 0.33          | 0.1           | 0.2          | 0.21        | 0.138                        | 13.8                            |
| <b>Baja</b>   | 0.08           | 0.05          | 0.05          | 0.07         | 0.11        | 0.36                         | 5.02                            |
| <b>Muy Baja</b>                                       | 0.06           | 0.04          | 0.03          | 0.02         | 0.04        | 0.19                         | 5.13                            |
|   |                |               |               |              |             | <b>Suma</b>                  | <b>26.33</b>                    |
|   |                |               |               |              |             | <b>Promedio</b>              | <b>5.27</b>                     |

**Tabla 80:** Matriz de Ponderación del Peligro

| Matriz de ponderación del peligro |          |           |                |       |           |                 |           |                         |               |              |               |          |                    |                           |
|-----------------------------------|----------|-----------|----------------|-------|-----------|-----------------|-----------|-------------------------|---------------|--------------|---------------|----------|--------------------|---------------------------|
| Condicionante                     |          |           | Desencadenante |       |           | Susceptibilidad |           | Parámetro de evaluación |               | Peligrosidad | Rango         | Nivel    | Niveles de Peligro |                           |
| ΣParXPcon                         | Peso con | Valor con | ΣPdesx Pdesc   | Pdesc | Valor des | Valor susc      | Peso susc | Valor par-eval          | Peso par-eval |              |               |          | Nivel de peligro   | Rango                     |
| 0.497                             |          | 0.398     | 0.262          |       | 0.052     | 0.45            |           | 0.503                   |               | 0.455        | 0.283 - 0.455 | Muy alto | Nivel de peligro   | Rango                     |
| 0.258                             |          | 0.206     | 0.262          |       | 0.052     | 0.259           |           | 0.503                   |               | 0.283        | 0.197 - 0.283 | Alto     | Peligro Muy Alto   | $0.283 \leq P \leq 0.455$ |
| 0.138                             | 80%      | 0.11      | 0.262          | 20%   | 0.052     | 0.162           | 90%       | 0.503                   | 10%           | 0.197        | 0.149 - 0.197 | Medio    | Peligro Alto       | $0.197 \leq P \leq 0.283$ |
| 0.072                             |          | 0.057     | 0.262          |       | 0.052     | 0.11            |           | 0.503                   |               | 0.149        | 0.123 - 0.149 | Bajo     | Peligro Medio      | $0.149 \leq P \leq 0.197$ |
| 0.036                             |          | 0.029     | 0.262          |       | 0.052     | 0.081           |           | 0.503                   |               | 0.123        |               |          | Peligro Bajo       | $0.123 \leq P \leq 0.149$ |

Fuente: (CENEPRED, 2019)

**Tabla 81:** Matriz de Peligro

| Matriz de Peligro |   |                           |
|-------------------|---|---------------------------|
| Nivel de peligro  | Descripción   | Rango                     |
| Peligro Muy Alto  | Precipitación entre 60-80% superior a su normal climáticoendiente: Menor a 15°. Unidades geológicas: Depósito aluvial (Qp-al). Unidades geomorfológicas: Depósitos proluviales recientes (flujo de detritos actuales). Nivel de precipitación: Extremadamente lluvioso. Caudal: Mayor a 5 metros cúbicos por segundo. | $0.283 \leq P \leq 0.455$ |
| Peligro Alto      | Precipitación entre 60-80% superior a su normal climáticoendiente: Menor a 15°. Unidades geológicas: Depósito aluvial (Qp-al). Unidades geomorfológicas: Depósitos proluviales recientes (flujo de detritos actuales). Nivel de precipitación: Extremadamente lluvioso. Caudal: Mayor a 5 metros cúbicos por segundo. | $0.197 \leq P \leq 0.283$ |
| Peligro Medio     | Precipitación entre 60-80% superior a su normal climáticoendiente: Menor a 15°. Unidades geológicas: Depósito aluvial (Qp-al). Unidades geomorfológicas: Depósitos proluviales recientes (flujo de detritos actuales). Nivel de precipitación: Extremadamente lluvioso. Caudal: Mayor a 5 metros cúbicos por segundo. | $0.149 \leq P \leq 0.197$ |
| Peligro Bajo      | Pendiente: De 25 a 45%. Unidades geológicas: Batolito de la Costa Super Unidad Santa Rosa - gabrodiorita. Unidades geomorfológicas: Montaña en roca intrusiva. Nivel de precipitación: Moderadamente lluvioso. Caudal: De 0.5 a 1.5 metros cúbicos por segundo.   | $0.123 \leq P \leq 0.149$ |

Fuente: (CENEPRED, 2019)