

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL TALUD “CHULUCANA” DE LA PROGRESIVA 1213+000 AL 1213+500 CARRETERA SAN MARCOS, CAJAMARCA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo.

**Autores:**

Bach. Geyny Goicochea Villanueva.

Bach. Jhordann Brandon Vasquez Villena.

**Asesor:**

Mg. Ing. Miguel Ricardo Portilla Castañeda.

Cajamarca - Perú

2021

## DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico en primer lugar a Dios por haberme dado la inteligencia y fortaleza para cumplir con mis metas. A mis padres con todo cariño y amor por la confianza, apoyo incondicional y desinteresado sin el cual no tendría la dicha de poder ser un profesional y seguir cumpliendo mis objetivos. A toda mi familia y amigos que me han mostrado su apoyo.

Bach. Jhordann Brandon Vasquez Villena.

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mi madre por ser la persona que me ha acompañado, orientado y apoyado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar mi carrera profesional. A mi hermana por darme fortaleza para seguir adelante y no rendirme. A toda mi familia y amigos por estar ayudándome siempre. Gracias a todos ustedes por la gran motivación que me dieron y la buena energía que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional.

Bach. Geyny Goicochea Villanueva

## AGRADECIMIENTO

Un enorme agradecimiento a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, forjándome como la persona que soy en la actualidad; muchos de los logros se los debo a ustedes, en los que incluyo este; gracias por motivarme en mis sueños y no cortarme las alas para poder volar alto.

A mi mamá Natalia por sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida, te quiero mucho.

A mis hermanos y todos aquellos que contribuyeron en mi formación tanto personal como profesional.

Bach. Jhordann Brandon Vasquez Villena

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Agradezco a mi madre quien me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi padre por apoyarme en mi formación profesional, en mis logros, en todo y por estar presente siempre en mi vida. Sé que está orgulloso de la persona en la cual me he convertido.

A mi hermana por su apoyo incondicional y por demostrarme la gran fe que tiene en mí.

Bach. Geyny Goicochea Villanueva.

Agradecemos de una manera especial al Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán por su apoyo desinteresado en el desarrollo de esta tesis de investigación desde nuestra etapa universitaria.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema .....	17
1.3. Objetivos .....	17
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	17
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	17
1.4. Hipótesis.....	18
1.4.1. <i>Hipótesis general</i> .....	18
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>19</b>
2.1. Tipo de investigación .....	19
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	19
2.2.1. <i>Población</i> .....	19
2.2.2. <i>Muestra</i> .....	19
2.3. Técnicas e instrumentos .....	20
2.3.1. <i>Técnicas</i> .....	20
2.3.2. <i>Instrumentos</i> .....	20
2.3.3. <i>Materiales</i> .....	21
2.4. Análisis de datos.....	21
2.5. Procedimiento.....	21
2.5.1. <i>Etapa Pre-Campo o Gabinete I</i> .....	21
2.5.2. <i>Etapa de campo</i> .....	23
2.5.3. <i>Aspectos Generales</i> .....	24
2.5.4. <i>Etapa Post-Campo o Gabinete II</i> .....	44
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
3.1. Geología .....	52
3.1.1. <i>Geomorfología</i> .....	52
3.1.2. <i>Estratigrafía</i> .....	54
3.1.3. <i>Depósitos Cuaternarios</i> .....	55

3.2.	Clasificación Geomecánica .....	55
3.2.1.	<i>RMR de Bieniawski</i> .....	55
3.2.2.	<i>GSI de Hoek y Brown</i> .....	65
3.2.3.	<i>RocData</i> .....	75
3.2.4.	<i>Tipo de rotura utilizando el software Dips</i> .....	86
3.3.	Análisis de Estabilidad (FS).....	90
3.3.1.	<i>Utilizando Software Swedge</i> .....	90
3.3.2.	<i>Modificación de la geometría del talud utilizando Software Swedge</i> .....	101
3.3.3.	<i>Utilizando Software Slide</i> .....	103
3.3.4.	<i>Modificación de la geometría del talud utilizando Software Slide</i> .....	107
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>112</b>
4.1.	Discusión.....	112
4.2.	Conclusiones .....	114
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>116</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>118</b>
ANEXO n.º 1.	Foto Panorámica del Talud. ....	118
ANEXO n.º 2.	Roca presente en el talud. ....	118
ANEXO n.º 3.	Estaciones de nuestra zona de estudio. ....	119
ANEXO n.º 4.	Tomando apuntes y graficando nuestro talud. ....	119
ANEXO n.º 5.	Transitabilidad en la zona de estudio.....	120
ANEXO n.º 6.	Midiendo el espaciamiento entre discontinuidades. ....	121
ANEXO n.º 7.	Llenando la tabla del Mapeo Geomecánico RMR.....	121
ANEXO n.º 8.	Toma de datos usando la brújula. ....	122
ANEXO n.º 9.	Toma de datos con la wincha.....	123
ANEXO n.º 10.	Tomar de coordenadas para el levantamiento topográfico. ....	123
ANEXO n.º 11.	Gráfico del GSI usado para el estudio. ....	125
ANEXO n.º 12.	Tabla de mapeo geomecánico usado para todas nuestras estaciones.....	126
ANEXO n.º 13.	Plano Geológico.....	127
ANEXO n.º 14.	Plano Topográfico.....	128
ANEXO n.º 15.	Mapa de Suelos. ....	129
ANEXO n.º 16.	Mapa de Ubicación. ....	130
ANEXO n.º 17.	Mapa de Zonificación Sísmica.....	131
ANEXO n.º 18.	Mapa de Accesibilidad.....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas UTM-WGS84. ....	24
<b>Tabla 2.</b> Ruta a la zona de estudio. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Estimación en terreno de la resistencia en Compresión Uniaxial. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Resistencia de algunas rocas sanas en (MPa). ....	27
<b>Tabla 5.</b> Calculo del RQD. ....	28
<b>Tabla 6.</b> Espaciamiento entre discontinuidades. ....	29
<b>Tabla 7.</b> Persistencia de las discontinuidades. ....	30
<b>Tabla 8.</b> Aperturas de las discontinuidades. ....	30
<b>Tabla 9.</b> Rugosidad de las discontinuidades. ....	30
<b>Tabla 10.</b> Relleno de las discontinuidades. ....	31
<b>Tabla 11.</b> Alteración de las discontinuidades. ....	31
<b>Tabla 12.</b> Tabla para obtener el parámetro de la presencia del agua. ....	31
<b>Tabla 13.</b> Orientación de las discontinuidades. ....	32
<b>Tabla 14.</b> Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR. ....	33
<b>Tabla 15.</b> Ubicación del talud. ....	46
<b>Tabla 16.</b> Coordenadas UTM-WGS84. ....	46
<b>Tabla 17.</b> Datos obtenidos con la brújula. ....	49
<b>Tabla 18.</b> Resistencia a la compresión Estación 1. ....	56
<b>Tabla 19.</b> Cálculo de RQD estación N° 1. ....	57
<b>Tabla 20.</b> Espaciamiento entre discontinuidades estación N° 1. ....	57
<b>Tabla 21.</b> Persistencia estación N° 1. ....	57
<b>Tabla 22.</b> Apertura estación N° 1. ....	58
<b>Tabla 23.</b> Rugosidad estación N° 1. ....	58
<b>Tabla 24.</b> Relleno de las discontinuidades estación N° 1. ....	58
<b>Tabla 25.</b> Alteración de la roca estación N° 1. ....	59
<b>Tabla 26.</b> Presencia de agua estación N° 1. ....	59
<b>Tabla 27.</b> Orientación de las discontinuidades estación N° 1. ....	59
<b>Tabla 28.</b> RMR estación N° 1. ....	60
<b>Tabla 29.</b> RMR estación N° 2. ....	61
<b>Tabla 30.</b> RMR estación N° 3. ....	62
<b>Tabla 31.</b> RMR estación N° 4. ....	63
<b>Tabla 32.</b> RMR estación N° 5. ....	64
<b>Tabla 33.</b> Tabla de resultados de RMR y GSI. ....	74
<b>Tabla 34.</b> Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J03 (Estático y Pseudo-estático). ....	94
<b>Tabla 35.</b> Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J02 y J03 (Estático y Pseudo-estático). ....	97
<b>Tabla 36.</b> Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático). ....	100
<b>Tabla 37.</b> Análisis del factor de seguridad con Slide v6.0 según Morgenstern- Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático). ....	106
<b>Tabla 38.</b> Análisis del factor de seguridad modificado la geometría con Slide v6.0 según Morgenstern- Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático). ....	110
<b>Tabla 39.</b> Comparativa del factor de seguridad de los softwares Swedge y Slide v6.0 antes de modificar y después de modificar la geometría. ....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clima y la vegetación presentes en nuestra zona de estudio.....	25
Figura 2. Gráfico para determinar la resistencia a la compresión Uniaxial. ....	27
Figura 3. Gráfico para determinar la valoración en porcentaje del RQD.....	28
Figura 4. Gráfico para determinar el espaciamiento entre discontinuidades.....	29
Figura 5. Gráfico para determinar el GSI.....	34
Figura 6. Tomar de la dirección de inclinación y buzamiento. ....	35
Figura 7. Toma de la dirección de inclinación en cada una de las estaciones.....	35
Figura 8. Valor del buzamiento con el uso de la brújula. ....	36
Figura 9. Cálculo del buzamiento de cada familia con el uso de la brújula. ....	36
Figura 10. Cálculo de la resistencia a la compresión. ....	37
Figura 11. Resistencia a la compresión del macizo rocoso. ....	37
Figura 12. Conteo del número total discontinuidades por unidad de volumen (1m <sup>3</sup> ). ....	38
Figura 13. Medición del espaciamiento entre las discontinuidades. ....	39
Figura 14. La altura total del talud. ....	40
Figura 15. Medición de la apertura. ....	40
Figura 16. Rugosidad que presenta. ....	41
Figura 17. Condiciones de relleno.....	41
Figura 18. Roca moderadamente meteorizada. ....	42
Figura 19. Humedad del macizo rocoso.....	42
Figura 20. Rumbo y buzamiento de nuestro macizo rocoso. ....	43
Figura 21. Zonas sísmicas del Perú. ....	45
Figura 22. Colina presente en nuestra zona de estudio con una orientación SW – NE.....	52
Figura 23. Ladera presente en nuestra zona de estudio. Con orientación NE – SW.....	53
Figura 24. Planicie con orientación NE – SW.....	53
Figura 25. Estación N° 1. ....	65
Figura 26. GSI para esta estación (N° 1).....	66
Figura 27. Estación N° 2. ....	67
Figura 28. GSI para la estación (N° 2).....	68
Figura 29. Estación N° 3. ....	69
Figura 30. GSI para la esta estación (N° 3).....	70
Figura 31. Estación N° 4. ....	71
Figura 32. GSI para la estación (N° 4).....	72
Figura 33. Estación N° 5. ....	73
Figura 34. GSI para la estación (N° 5).....	74
Figura 35. Ingreso de datos al software RocData v5.0.....	75
Figura 36. Ingreso de GSI al software RocData v5.0.....	76
Figura 37. Ingreso del “mi” al RocData v5.0. ....	77
Figura 38. Ingreso del factor de disturbancia (D) al software RocData v5.0.....	78
Figura 39. Ingreso del MR al software RocData v5.0.....	79
Figura 40. Ingresamos los datos complementarios al software RocData v5.0.....	80
Figura 41. Valores de la estación 1: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.. ....	81
Figura 42. Valores de la estación 2: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción. ....	82
Figura 43. Valores de la estación 3: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.. ....	83
Figura 44. Valores de la estación 4: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción. ....	84
Figura 45. Valores de la estación 5: mb; s; a; Cohesión; y Ángulo de fricción.....	85
Figura 46. Análisis cinemático 1.....	86
Figura 47. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. ....	86
Figura 48. Análisis cinemático 2.....	87
Figura 49. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. ....	87
Figura 50. Análisis cinemático 3.....	88

Figura 51. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. ....	88
Figura 52. Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca .....	89
Figura 53. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	90
Figura 54. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	91
Figura 55. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb. ....	92
Figura 56. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb. ....	93
Figura 57. Análisis de Sensibilidad.....	94
Figura 58. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	95
Figura 59. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	96
Figura 60. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	96
Figura 61. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	97
Figura 62. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb.....	98
Figura 63. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb. ....	99
Figura 64. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb .....	99
Figura 65. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb.....	100
Figura 66. Vista en perfil del talud con reducción del buzamiento.....	101
Figura 67. Vista del talud corregido el ángulo de Buzamiento a 60° .....	102
Figura 68. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas.....	103
Figura 69. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas.....	103
Figura 70. Análisis de estabilidad del talud Chulucana en condiciones estáticas. ....	104
Figura 71. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas.....	104
Figura 72. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas... ..	105
Figura 73. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas. ....	105
Figura 74. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas. ....	106
Figura 75. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas. ....	106
Figura 76. Estabilidad del talud modificando su geometría en condiciones estáticas. ....	107
Figura 77. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría. ....	107
Figura 78. Nuevo factor de seguridad tras modificar su geometría. ....	108
Figura 79. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría .....	108
Figura 80. Analisis de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas .....	109
Figura 81. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría. ....	109
Figura 82. Analisis de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas. ....	110
Figura 83. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría. ....	110

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para calcular el RQD.....	28
Ecuación 2. Cálculo de RQD.....	38
Ecuación 3. Cálculo del GSI.....	47

## RESUMEN

La estabilidad de taludes es un tema que poco a poco va cobrando más importancia en las obras civiles debido a que cada vez es más frecuente ver los daños y pérdidas que pueden ocasionar. En el año en curso desarrollamos una investigación en el talud “Chulucana” ubicado en la provincia de “San Marcos” donde se pudo identificar materiales y condiciones que podrían generar un deslizamiento. El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis estático y pseudoestático con el fin de determinar el Factor de Seguridad y a su vez proponer alternativas de solución frente a este problema. Para poder llevar a cabo la investigación se tomó datos en campo estableciendo 5 estaciones, aplicando técnicas de recolección y análisis documental. Los datos obtenidos fueron procesados en el software Swedge (Mohr-Coulomb), AutoCAD 2021, Slide v6.0 (Spencer, Morgenstern-Price, RocData v5.0 en condiciones tanto estáticas como pseudoestáticas obteniendo una valoración de inestabilidad de acuerdo a la norma de proyectos civiles. Gracias al análisis pseudoestático pudimos tener una visión de cómo el talud se comportaría frente a un movimiento sísmico.

**Palabras clave:** Deslizamiento, Pseudoestático, Geomecánica, Sismicidad.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El tema de inestabilidad de taludes es un problema latente que se presenta diariamente a nivel mundial el cual poco a poco ha ido cobrando importancia debido a su gran nivel de destrucción ocasionando daños materiales, económicos, sociales y humanos; un ejemplo internacional reciente de lo mencionado es lo ocurrido el 13 de diciembre del año 2020 en donde se cerró total e indefinidamente la autopista Medellín-Colombia debido al deslizamiento del talud teniendo como resultado a tres personas heridas entre ellos un transportista que llevaba elementos de primera necesidad, la muerte de dos personas como era un menor de 7 años y un adulto de sesenta años así mismo la destrucción de las viviendas circundantes (SEMANA, 2020). En el ámbito nacional el pasado 7 de abril se produjo un deslizamiento en Huari-Ancash el cual está condicionado a los aspectos geológicos, geomorfológicos y pendiente de la ladera del lugar. Este evento perjudicó aproximadamente 100 metros de línea de transmisión eléctrica, 600 m de vía asfaltada, infraestructura de riego y terrenos de cultivo, desencadenando el desabastecimiento de productos de primera necesidad e incomunicación de las personas a dicha provincia (INGEMMET, 2021). Localmente como es bien sabido el 17 de febrero del 2019 ocurrió un deslizamiento en el km 129 de la carretera Cajamarca-Ciudad de Dios provocando la interrupción de dicha vía y en consecuencia el alza de precios en transporte y alimentos (Morales, 2019).

Las obras de infraestructura lineal de carreteras, canales, conducciones, explotaciones mineras, y en general cualquier construcción que requiera una superficie plana en una zona de pendiente precisa la excavación de taludes. El diseño de taludes es uno de los

aspectos más importantes de la geotecnia, pues está presente en la mayoría de las actividades constructivas o extractivas. El enfoque de diseño en carreteras es proyectar taludes permanentes y seguros, los criterios de seguridad juegan un papel muy importante y fundamental, ya sea en suelos o rocas, pues la identificación de riesgos en un talud es primordial para realizar un posterior análisis de estabilidad, pues en el campo de las obras civiles surgen con frecuencia problemas relacionados con la inestabilidad de taludes. (Calizaya, 2020).

Actualmente nuestra zona de estudio carece de atención por parte de las autoridades competentes en temas de monitoreo y control de las condiciones en las que se encuentra, aquí se puede evidenciar que hay cierta caída de bloques hacia la parte de la cuneta y otros alcanzando la parte media de la carretera representando un riesgo no solo de deslizamiento sino también un peligro a la integridad de las personas que por ella circulan. En el año 2016 en el sector Chulucana se produjo un deslizamiento provocando la pérdida total de los cultivos, daños a las viviendas circundantes y algunos daños estructurales a la vía. A manera de ejemplo el 21 de abril del 2016 se produjo un deslizamiento en el tramo 130+250 al 130+450 carretera Cajamarca-Magdalena produciendo el bloqueo total de la ruta a la costa y por lo tanto el difícil transporte de pasajeros, alimentos y cargas, desencadenando un incremento de precios en diferentes productos, la solución que le dieron en ese tiempo solo fue el de hacer una nueva carretera por sobre la ya deslizada sin hacer hincapié en un correcto y detallado estudio geotécnico, años más tarde exactamente el 17 de febrero del 2019 se volvió a producir un deslizamiento teniendo las mismas consecuencias que el de la vez pasada evidenciándose el gran descuido y desinterés de las autoridades por dar una solución definitiva a dicho problema.

El tramo del talud “Chulucana” se encuentra en la carretera 3N que une las ciudades de Cajamarca con la Provincia de San Marcos siendo de la formación Chimú y estando rodeada de depósitos Aluviales, esta vía es la única que mantiene conectada a dichas ciudades y también a pueblos aledaños abastecidos de elementos de primera necesidad, sirviendo como medio de transporte y comunicación, siendo así muy transitada constantemente durante los 365 días del año, lo cual representa un peligro en el caso de producirse un deslizamiento, a su vez que significaría el congestionamiento vehicular, obstrucción del paso de diferentes productos imprescindibles para la vida cotidiana de los pobladores.

García (2017) en su estudio de tesis “Estabilización de taludes de la carretera PE-3N, KM 263+100” menciona que en la zona denominada Mitotambo los deslizamientos de taludes es uno de los procesos geológicos que más ha afectado y sigue afectando a los seres humanos a lo largo de la historia representando pérdidas tanto humanas como materiales pero que a pesar de todo no se ha tomado conciencia de esto. El autor afirma que la estabilidad de un talud está estrechamente relacionada con parámetros como la topografía, geología, sismicidad, hidrología, etc; siendo comprobado estadísticamente que el 90% de las pérdidas por deslizamiento son evitables si el problema es identificado con anterioridad y tomándose las medidas pertinentes de prevención y control siendo no solamente competencia del organismo encargado de su operación sino a nivel general debido a las implicaciones en seguridad, comodidad y en garantía de comunicación.

Díaz & Rodríguez (2017) en su tesis de investigación “Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios-

Cajamarca” señala que la zona anteriormente mencionada sufre de constates procesos de deslizamientos, debido a la naturaleza anisótropa de las unidades geológicas y también juega un rol muy importante las actividades antrópicas, todo lo detallado ocurre principalmente en las temporadas de invierno. Es importante tener en cuenta el nivel de relevancia acerca de este problema con la finalidad de evitar que la ciudad de Cajamarca quede incomunicada con las diversas ciudades de la costa y por consiguiente evitar posibles pérdidas tanto de vidas humanas como económicas.

García (2017) para llevar a cabo su investigación recolectó información relacionada a su zona de estudio mediante una observación y toma de datos in-situ para después poder procesarlo en Softwares especializados como son Geo-Slope, Slide y Rocscience a fin de calcular el Factor de Seguridad y poder determinar que método sería el más adecuado y económicamente rentable de poder aplicar en el lugar para así mitigar el riesgo latente de posibles pérdidas a futuro; luego de haber realizado su procesamiento evidenció que los taludes eran inestables por lo que su principal propuesta fue realizar muros de contención reforzados con geosintéticos, también hizo la comparación de los factores de seguridad obtenidos con los factores de seguridad establecidos para poder contrastar con sus hipótesis propuestas.

Díaz & Rodríguez (2017) para poder desarrollar su proyecto establecieron siete estaciones geomecánicas en la zona, con la finalidad de calcular parámetros necesarios como la Cohesión y ángulo de fricción interno de la roca mediante criterios geomecánicos y además analizar la cinemática de los taludes. Seguidamente con los datos obtenidos se procedió a ingresar los valores en Softwares especializados como el de la familia de Rocscience para así poder obtener el valor de Factor de Seguridad

(FS) para cada estación geomecánica estudiada. La principal alternativa de solución que propusieron fue el de realizar un estudio técnico para estabilizar y evitar deslizamientos no solo de su zona de estudio sino también los taludes a lo largo de la carretera. Sumado a lo anterior fue necesario identificar los sectores con potencial desarrollo de movimiento en masa ya sea del tipo de falla planar, en cuña o por vuelco.

En el año 2007 el sector de Energía y Minas a través Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), realizó el estudio “Zonas críticas por peligros geológicos y geohidrológicos en la región Cajamarca” donde da a conocer zonas de vital importancia a tener en cuenta debido a riesgo latente que estas representan, estando considerada nuestro lugar de investigación a causa de derrumbes y deslizamientos en los taludes de corte de carretera en ambas márgenes de la quebrada Chulucana afectando de 2 a 3 desarrollos de carretera Cajamarca-San Marcos en un tramo de 450m de longitud.

Como bien sabemos todas las aquellas rocas que se encuentran expuestas a los diferentes agentes atmosféricos presentarán degradación de sus diferentes propiedades geomecánicas independientemente del lugar o país donde afloren. Las características intrínsecas de cada afloramiento es básicamente el reflejo de la actividad tectónica de la zona así como de la propia naturaleza del lugar. Las condiciones descritas anteriormente así como efectos gravitatorios y sísmicos van a dar lugar a una serie de inestabilidades los cuales representan riesgos geológicos potenciales debido a la implicancia que tienen en las diferentes actividades humanas.

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación se realizó la clasificación geomecánica así como el análisis de la estabilidad del talud mediante la identificación del tipo de roca, tipo de rotura y fracturamiento. Se determinarán tanto factores internos como externos que afectan la estabilidad en términos de tiempo. También se determinará la mejor solución para garantizar la estabilidad ante cualquier posible evento. El fin de esta investigación es generar una mayor atención e importancia a los estudios de este tipo para evitar daños y pérdidas tanto económicas como materiales que afectan tanto a pobladores de las zonas circundantes, transportistas que hacen uso de la vía y al gobierno que tiene como obligación estabilizar el talud constantemente así como proveer información necesaria para estudios e investigaciones futuras.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el resultado del estudio geomecánico para el diseño de estabilidad del talud “Chulucana” en la progresiva 1213+000 al 1213+500 carretera San Marcos, Cajamarca 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar un estudio geomecánico para el diseño y estabilidad del talud “Chulucana” en la progresiva 1213+000 al 1213+500 carretera San Marcos, Cajamarca 2020.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Caracterizar el macizo rocoso del talud “Chulucana” utilizando el RMR de Bieniawski.

Caracterizar el macizo rocoso del talud “Chulucana” utilizando el GSI de Hoek y Brown.

Determinar el tipo de rotura utilizando el software Dips.

Calcular el Factor de Seguridad (FS) del talud “Chulucana”.

Diseñar la estabilidad del talud “Chulucana”.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El estudio geomecánico optimizó el diseño y estabilidad del talud “Chulucana” en la progresiva 1213+000 al 1213+500 carretera San Marcos, Cajamarca 2020.

## **CAPÍTULO II. MÉTODO**

### **2.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es del tipo aplicada porque está centrada en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto, con enfoque cuantitativo ya que se centra en el estudio y análisis de la realidad a través de diversos procedimientos basados en la medición, permitiendo un mayor nivel de control e inferencia que otros tipos de investigación, siendo posible realizar experimentos y obtener explicaciones contrastadas a partir de hipótesis, es de alcance correlacional debido a que se tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más variables o conceptos, de diseño no experimental por ser trabajado con hechos de experiencia directa no manipulados y se basa fundamentalmente en la observación, de corte transversal ya que el estudio se realiza en un solo periodo de tiempo (Oblitas, 2018).

### **2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)**

#### **2.2.1. Población**

Todos los macizos rocosos de los taludes presentes en el sector Chulucana, San Marcos, Cajamarca 2020.

#### **2.2.2. Muestra**

El macizo rocoso del talud “Chulucana” de la progresiva 1213+000 al 1213+500 San Marcos, Cajamarca 2020.

## **2.3. Técnicas e instrumentos**

### **2.3.1. Técnicas**

#### **Observación**

Se utilizará tanto libreta de campo como ficha de observación para poder graficar y anotar todos los datos que consideremos necesarios e importantes para el procesamiento de datos.

#### **Análisis documental**

Se empleará una ficha de registro de datos con el fin de tener toda la información que podamos recolectar después de haber realizado la observación.

Los controles de calidad usados en esta investigación fueron el de realizar el análisis pseudoestático a fin de verificar la estabilidad del talud con acción sísmica asemejándose lo mayor posible a la realidad, de igual manera al momento de realizar el mapeo geomecánico RMR tomamos como base las zonas más representativas y críticas de la estación para lo cual tomamos 10 datos por cada familia (3familias) para cada estación (5 estaciones) a fin de garantizar la veracidad y exactitud de los valores correspondientes.

### **2.3.2. Instrumentos**

Ficha de observación geomecánica.

Cuaderno de Campo.

Tablero.

### **2.3.3. Materiales**

Picota marca Estwing mango corto.

Lupa de geólogo.

Flexómetro.

Cinta métrica.

Útiles de escritorio.

Impresora.

Escalímetro.

GPS Garmin eTrex 20.

Brújula tipo Brunton.

Cámara Fotográfica.

### **2.4. Análisis de datos**

Para analizar y posteriormente interpretar los datos tomados en campo haremos uso de los siguientes softwares: Dips v6.0, AutoCAD 2021, Slide v6.0, Swedge, RocData v6.0, ArcGIS 10.3, Microsoft Office (Excel, Word, Power Point).

### **2.5. Procedimiento**

#### **2.5.1. Etapa Pre-Campo o Gabinete I**

En esta etapa se procedió a recopilar todos los datos requeridos para poder utilizar y tener conocimiento de la zona de estudio, conformada por: Geocatmin para poder informarnos sobre las zonas críticas presentes en nuestra región, mapas geológicos, índices de sismicidad; investigaciones, tesis, reportes y artículos que contengan información relacionada con nuestro tema para poder

informarnos mejor sobre estudios y procedimientos realizados los cuales nos servirán como antecedentes (Scielo, Alicia, Concitec, Renati).

La presente investigación se desarrollará teniendo en cuenta:

Clasificación geomecánica RMR: Desarrollado por Bieniawski, (1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. (Choquehuayta, 2019).

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- a) Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
- b) R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.
- c) Espaciado de las discontinuidades.
- d) Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
  - ✓ Abertura de las caras de la discontinuidad.
  - ✓ Continuidad o persistencia de la discontinuidad.
  - ✓ Rugosidad. - Alteración de la discontinuidad.
  - ✓ Relleno de las discontinuidades.
- e) Presencia del Agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para

este criterio son: completamente seco, húmedo, mojado, goteo y flujo.

f) Orientación de las discontinuidades.

Para obtener el índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

Se suma los 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico).

El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

El valor del RMR varía entre 0 a 100.

Clasificación de Hoek y Brown (GSI): Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. (Ccora, 2019).

### **2.5.2. Etapa de campo**

En esta etapa se procedió a recolectar los datos teniendo como ayuda y base toda la información recopilada anteriormente para plasmar nuestras observaciones, para ello establecimos 5 estaciones representativas teniendo en cuenta los puntos más críticos.

### 2.5.3. Aspectos Generales

#### UBICACIÓN

##### Geográfica

Geográficamente nuestra área de estudio se encuentra comprendida en la cordillera occidental de los andes, exactamente al SE de la ciudad de Cajamarca, entre la progresiva 1213+000 al 1213+500 de la carretera Cajamarca-San Marcos, en la Provincia de San Marcos. Con Coordenadas: UTM: WGS84, ZONA 17S.

##### Política

Políticamente se encuentra ubicada en:

- ❖ Región: Cajamarca.
- ❖ Provincia: San Marcos.
- ❖ Distrito: Pedro Gálvez.

Las coordenadas de la zona en estudio son como se describen a continuación.

**Tabla 1**

*Coordenadas UTM-WGS84.*

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	810045	9188993
V2	812045	9188993
V3	812045	9190993
V4	810045	9190993

Nota. En la tabla podemos apreciar los vértices de nuestra zona de estudio con sus respectivas coordenadas este y norte. Fuente: GPS.

##### ACCESIBILIDAD

Para poder llegar a nuestra zona de estudio tenemos que tener como punto de partida la ciudad de Cajamarca, en el paradero a San Marcos, ubicado en Av. San Martín de Porres cuadra 1, teniendo como referencia la Plazuela Bolognesi; con un tiempo aproximado de viaje de 50 en camioneta mediante vía asfaltada.

**Tabla 2**

*Ruta a la zona de estudio.*

<b>RUTA TERRESTRE</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>VÍA</b>
<b>Lima-Cajamarca</b>	859	900	Asfaltada
<b>Cajamarca-Talud “Chulucana”</b>	54	50	Asfaltada

Nota. En esta tabla podemos apreciar la ruta de accesibilidad para llegar a nuestra zona de estudio, a que distancia se encuentra con respecto a Lima y Cajamarca, tipo de vía y tiempo que tardamos en llegar. Fuente: Google Maps.

## **CLIMA Y VEGETACIÓN**

El clima en nuestra zona de estudio durante el verano es cómodo y nublado mientras que el invierno es corto, frío, seco y parcialmente nublado. La temperatura promedio al año fluctúa entre los 6°C-21°C disminuyendo rara vez a menos de 4°C o más de 24°C. La temporada de lluvia está comprendido entre mediados de septiembre a fines de mayo, mientras que la temporada seca está comprendida entre fines de mayo a mediados de setiembre. (Weather Spark, 2021). La vegetación predominante en el área está compuesta por arbustos y sembríos antrópicos.



*Figura 1.* La siguiente ilustración tiene una orientación NE – SW y podemos apreciar el clima y la vegetación presentes en nuestra zona de estudio.

Enseguida se plasmará las herramientas y teorías utilizadas para la recolección de datos en campo.

**Tabla 3**

*Estimación en terreno de la resistencia en Compresión Uniaxial.*

Clase (a).	Calificación de la roca según su resistencia.	Resistencia Uniaxial (MPa).	Índice de carga puntual (MPa).	Estimación en terreno de la resistencia.	Ejemplos.
<b>R6</b>	Extremadamente Resistente.	> 250	>10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
<b>R5</b>	Muy resistente	100-250	4-10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita.
<b>R4</b>	Resistente.	50-100	2-4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquisto, pizarras.
<b>R3</b>	Moderadamente Resistente.	25-50	1-2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe, pero no es posible descostrar la roca con una navaja.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
<b>R2</b>	Débil.	5-25	(b)	Un golpe con la punta del martillo deja una indentación superficial.	Creta, sal mineral, potasio.
<b>R1</b>	Muy Débil.	1-5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
<b>R0</b>	Extremadamente Débil.	0.25-1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Nota. (a) Clases según Brown. (b) Para rocas con una resistencia uniaxial menor que 25 MPa los resultados del ensayo de carga puntual son poco confiables. Fuente: (Primer Taller Geotécnico Interdivisional, 1997)

También podemos hacer uso del siguiente gráfico, a fin de corroborar el resultado.

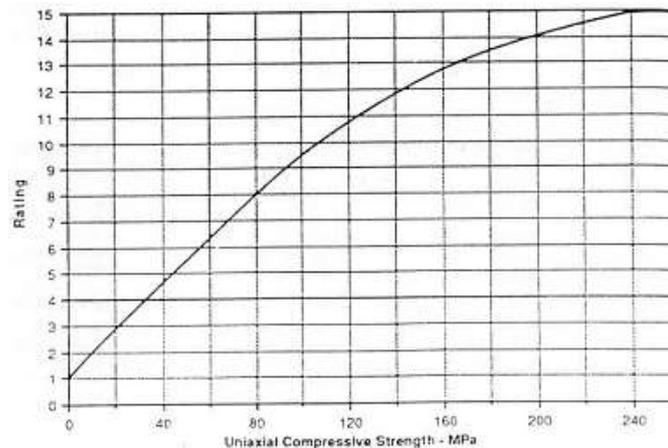


Figura 2. Gráfico para determinar la valoración en MPa de la resistencia a la compresión Uniaxial. Fuente: (UPC, 2010).

**Tabla 4**

*Resistencia de algunas rocas sanas en (MPa).*

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIO
Creta	1	2	1.5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limonita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
<b>Arenisca</b>	<b>40</b>	<b>179</b>	<b>95</b>
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Nota. En la tabla podemos observar el grado de resistencia a la compresión en MPa que presentan algunos tipos de rocas. Resaltamos de color naranja la resistencia a la compresión de la arenisca puesto que ese tipo de roca encontramos presente en nuestra área de estudios. Fuente: (UPC, 2010).

## 2do parámetro: cálculo del RQD

La calidad de roca RQD determina teniendo en cuenta el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro  $J_v$ , haciendo uso de la siguiente fórmula:

### Ecuación 1. Fórmula para calcular el RQD

$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

El valor obtenido en la fórmula será comparada con la siguiente tabla:

**Tabla 5**

*Calculo del RQD.*

INDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
90 – 100	Excelente	20
75 – 90	Buena	17
50 – 75	Regular	13
25 – 50	Mala	8
<25	Muy mala	3

Nota. De acuerdo al índice de calidad (%) determinaremos la calidad de la roca y le daremos la valorización correspondiente. Fuente: Propia.

Asimismo, se puede buscar la valorización para el RQD, a partir del siguiente gráfico:

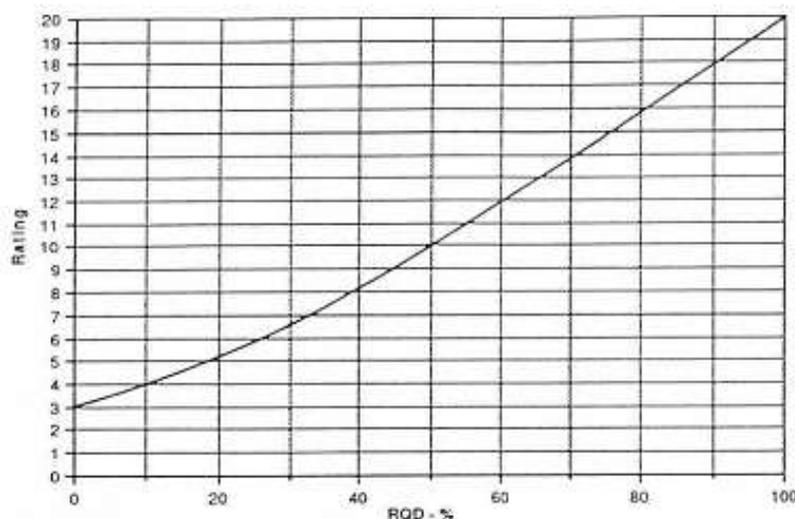


Figura 3. Gráfico para determinar la valorización en porcentaje del RQD. Fuente: (UPC, 2010).

## 3er parámetro: espaciamiento entre discontinuidades

La separación o el espaciamiento de las discontinuidades están clasificadas según la tabla que a continuación se observa:

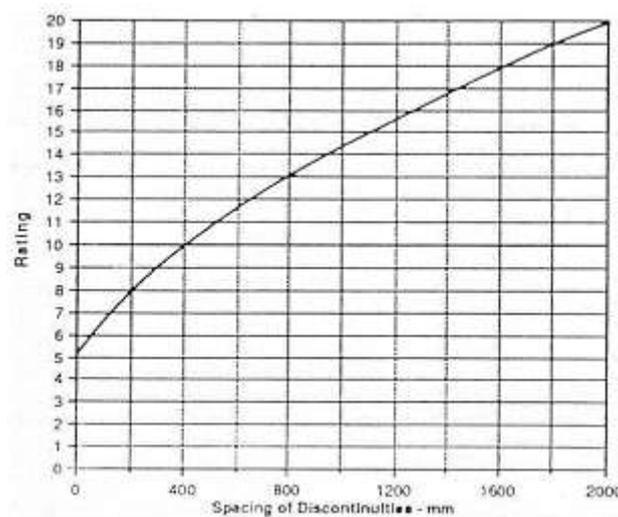
**Tabla 6**

*Espaciamiento entre discontinuidades.*

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
<b>Muy separadas</b>	> 2 m	Sólido	<b>20</b>
<b>Separadas</b>	0,6 – 2 m.	Masivo	<b>15</b>
<b>Moderadamente juntas</b>	200-600 mm.	En bloques	<b>10</b>
<b>Juntas</b>	60 – 200 mm.	Fracturado	<b>8</b>
<b>Muy juntas</b>	< 60mm	<b>Machacado</b>	<b>5</b>

Nota. Según el espaciamiento de las juntas indicaremos su descripción, determinaremos el tipo de macizo rocoso y daremos la respectiva valorización al tipo de roca presente en nuestra área de estudio. Fuente: Propia.

Para calcular el rango se utiliza el siguiente gráfico:



*Figura 4.* Gráfico para determinar el espaciamiento entre discontinuidades en mm. Fuente: (UPC, 2010).

#### 4to parámetro: condiciones de las discontinuidades

**Tabla 7**

*Persistencia de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
1	Muy baja	< 1 m	6
2	baja	1 – 3 m	4
3	Media	3 – 10 m	2
4	Alta	10 – 20 m	1
5	<b>Muy alta</b>	<b>&gt; 20 m</b>	<b>0</b>

Nota. Teniendo en cuenta la continuidad daremos la descripción y la valoración al tipo de roca presente en nuestra área de trabajo. Fuente: Propia.

**Tabla 8**

*Aperturas de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
1	Cerrada	0	6
2	Muy Angosta	< 0,1 mm	5
3	Angosta	0,1 – 1 mm	4
4	Abierta	1 – 5 mm	1
5	<b>Muy Abierta</b>	<b>&gt; 5mm</b>	<b>0</b>

Nota. Dependiendo de la separación de las caras de las rocas presentes en el área de estudios le daremos la descripción adecuada y su respectiva valoración. Fuente: Propia.

**Tabla 9**

*Rugosidad de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	<b>Muy Lisa</b>	<b>0</b>

Nota. Dependiendo del tipo de rugosidad que presentan las discontinuidades le daremos la valoración que le corresponde a la roca presente en el área de trabajo. Fuente: Propia.

**Tabla 10**

*Relleno de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Ninguno	6
2	Duro < 5 mm	4
3	Duro > 5mm.	2
4	Blando < 5mm	1
5	<b>Blando &gt; 5 mm</b>	<b>0</b>

Nota. De acuerdo al tipo de relleno de las discontinuidades daremos la respectiva valoración a la roca presente en el área de trabajo. Fuente: Propia.

**Tabla 11**

*Alteración de las discontinuidades.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	No meteorizada	6
2	Ligeramente	5
3	Moderadamente	3
4	Altamente Meteorizada	1
5	<b>Descompuesta</b>	<b>0</b>

Nota. Observando el grado de alteración de las discontinuidades le daremos la valoración correspondiente al macizo rocoso. Fuente: Propia.

### 5to parámetro: la presencia del agua

Para calcular la valoración según la presencia del agua se toma como referencia la tabla que a continuación se especifica.

**Tabla 12**

*Tabla para obtener el parámetro de la presencia del agua.*

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
<b>Completamente Seco</b>	<b>15</b>
<b>Húmedo</b>	<b>10</b>
<b>Mojado</b>	<b>7</b>
<b>Goteo</b>	<b>4</b>
<b>Flujo</b>	<b>0</b>

Nota. Según la condición en relación al agua presente, daremos la valoración correspondiente a nuestra estación. Fuente: Propia.

### 6to parámetro: orientación de las discontinuidades

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

**Tabla 13**

*Orientación de las discontinuidades.*

Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo Paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0 -20° independiente del rumbo
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento		Buz 45° - 90°	Buz 20°- 45°	
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45°-90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20°- 45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Nota. De acuerdo al rumbo y buzamiento de las discontinuidades se determinará el valor a restar para calcular el RMR corregido. Fuente: Propia.

**Tabla 14**

*Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR.*

<b>CLASIFICACIÓN DEL MACIZO</b>	
<b>ROCOSO RMR</b>	
<b>RMR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>91-100</b>	MUY BUENA “A”
<b>81-90</b>	MUY BUENO “B”
<b>71-80</b>	BUENA “A”
<b>61-70</b>	BUENA “B”
<b>51-60</b>	REGULAR “A”
<b>41-50</b>	REGULAR “B”
<b>31-40</b>	MALA “A”
<b>21-30</b>	MALA “B”
<b>0-20</b>	MUY MALA “A”

Nota. Dependiendo del resultado numérico del RMR corregido determinaremos la calidad de roca presente en cada estación de estudio. Fuente: Propia.

### **Clasificación de Hoek y Brown (GSI)**

Hoek (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. (Ccora, 2019)

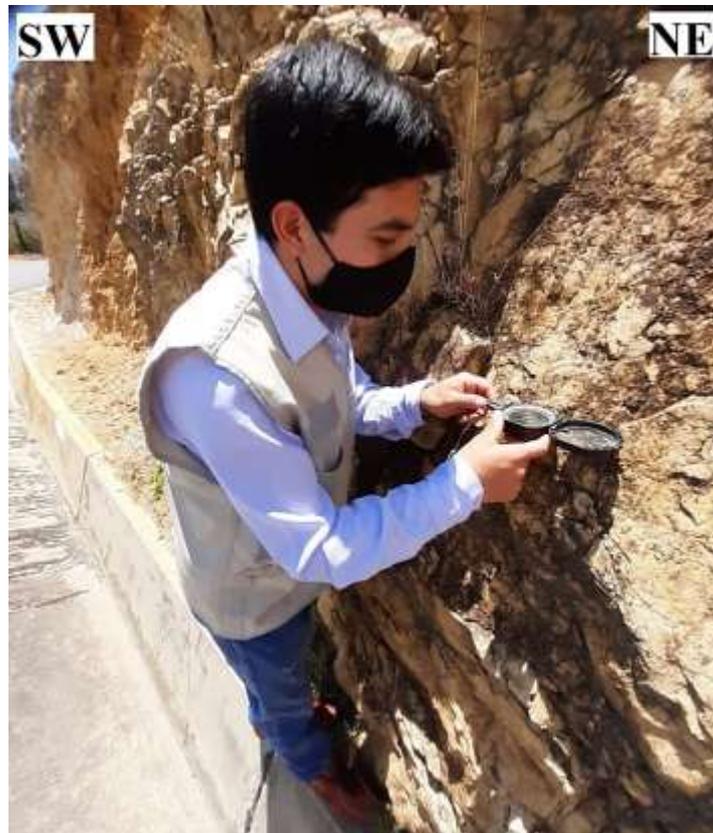


Figura 5. Gráfico para determinar el GSI que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. Fuente: (UPC, 2010).

1° Tomar el dip direction y buzamiento de cada familia presente en nuestras diferentes estaciones.



*Figura 6.* Usamos la brújula para tomar la dirección de inclinación y buzamiento.



*Figura 7.* Usamos la brújula para obtener la dirección de inclinación en cada una de las estaciones.



*Figura 8. Obtenemos el valor de buzamiento con el uso de la brújula.*



*Figura 9. Cálculo del buzamiento de cada familia con el uso de la brújula.*

2° Obtendremos nuestro primer parámetro del “Mapeo Geomecánico RMR” que viene a ser la resistencia a la compresión, para esto procederemos a golpear la roca de nuestra primera estación con la picota de geólogo y lo compararemos con nuestra tabla de estimación a la resistencia, en este caso la roca requirió varios golpes de la picota para poder descostrarse por lo cual le corresponde una valoración entre 100-250.



*Figura 10.* Uso de la picota de geólogo para calcular la resistencia a la compresión de las rocas.



*Figura 11.* Con la picota obtenemos la resistencia a la compresión del macizo rocoso.

3° Calcularemos nuestro segundo parámetro que viene a ser el RQD para lo cual hemos tomado el promedio de 10 valores para cada una de las 5 estaciones, se realizó contando el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro  $J_v$ , haciendo uso de la siguiente fórmula:  $RQD=115-3.3 (J_v)$ .



Figura 12. Conteo del número total discontinuidades por unidad de volumen ( $1\text{m}^3$ ) del macizo rocoso.

En este caso podemos evidenciar aproximadamente 15 discontinuidades, de acuerdo a la fórmula el resultado sería:

#### **Ecuación 2. Cálculo de RQD**

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$$

$$RQD = 115 - 3.3 (15)$$

$$RQD = 115 - 49.5$$

$$RQD = 65.5\%$$

(Este valor lo ubicamos en la tabla y obtendremos su valor)

4° Obtendremos el tercer parámetro que es el espaciamiento entre discontinuidades, para lo cual haremos uso de una wincha y luego de la tabla correspondiente.

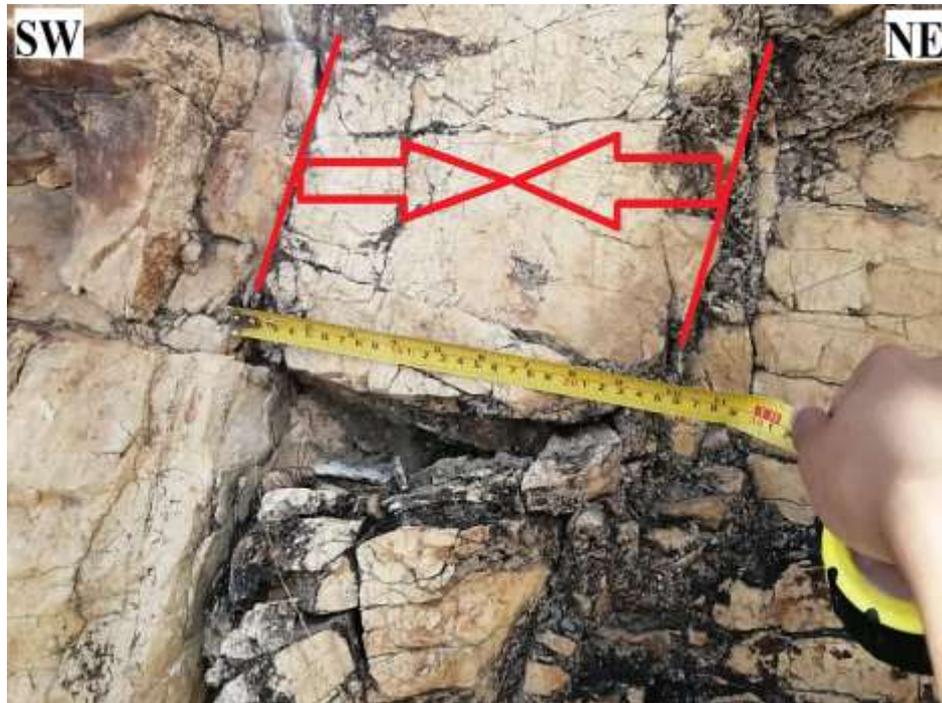


Figura 13. Usaremos la wincha para medir el espaciamiento de las discontinuidades.

Como en esta estación el espaciamiento es de 26 cm aproximadamente (260mm), entonces el valor que le corresponde será de 10.

5° Calcularemos el cuarto parámetro que vienen a ser las condiciones de las discontinuidades y como primer punto calcularemos la persistencia que viene a ser la longitud vertical del talud, en nuestro caso la altura es de 6m.



Figura 14. La altura total de nuestro talud es 6m.

6° Obtendremos la apertura la cual viene a ser la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad para lo cual observaremos nuestra roca en campo y verificaremos según la tabla con cuál de las descripciones se relaciona.



Figura 15. Medición de la apertura.

7° Verificaremos el estado de rugosidad que es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad, cuanta más rugosidad tenga la discontinuidad la masa rocosa será más competente y viceversa.



Figura 16. Observamos el estado de rugosidad que presenta nuestra estación.

8° Para obtener el relleno de las discontinuidades haremos una observación y deducción del tipo de material presente en cada discontinuidad.



Figura 17. Condiciones de relleno.

9° Determinaremos con una observación la alteración presente en la estación, para este caso se evidencia que está moderadamente meteorizada debido a que la mitad del material está descompuesto, la roca presenta decoloración con esqueleto discontinuo.



*Figura 18.* Roca moderadamente meteorizada.

10° El quinto parámetro a calcular será la presencia de agua y será obtenida con una observación al macizo rocoso, por motivos de mayor certeza a la realidad se recomienda considerar a un talud húmedo aunque en campo se observe seco.



*Figura 19.* El macizo rocoso se encuentra húmedo.

11° Finalmente como último parámetro tenemos la orientación de las discontinuidades lo cual nos servirá para hallar el cálculo del RMR corregido, para ello observaremos el rumbo y buzamiento de nuestro macizo y lo compararemos con el gráfico que tenemos en la tabla de Mapeo Geomecánico RMR, en este caso los estratos tienen un azimut de N102 y un buzamiento de 58° SW.

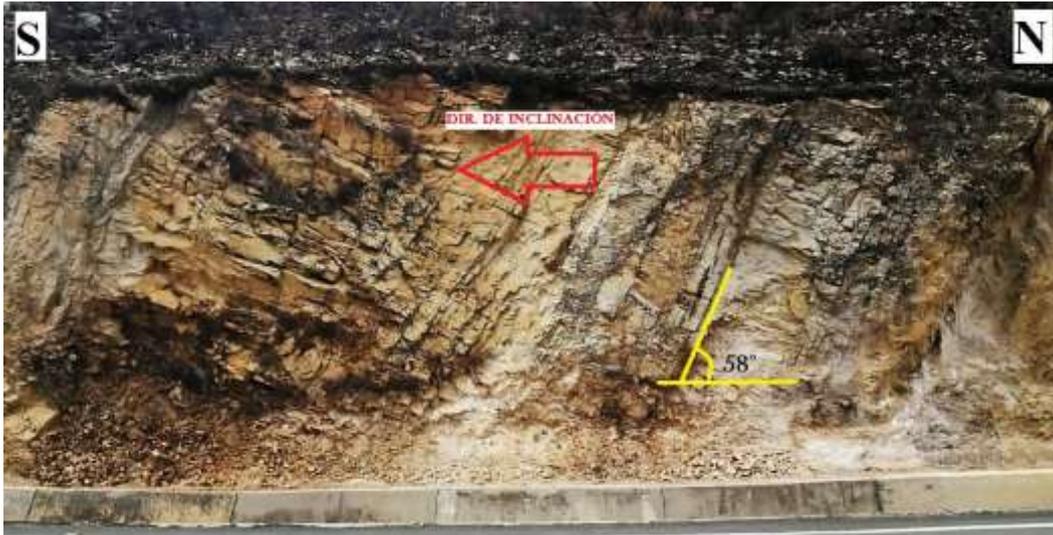


Figura 20. Observamos el rumbo y buzamiento de nuestro macizo rocoso.

12° El resultado final será la sumatoria de todos nuestros parámetros calculados anteriormente lo cual indicará el RMR básico, y restado la orientación de las discontinuidades al resultado anterior nos dará como valor el RMR corregido, el procedimiento será el mismo para el cálculo de los RMR de todas las estaciones.

## 2.5.4. Etapa Post-Campo o Gabinete II

### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

#### **Cálculo del Factor de Seguridad**

A continuación, calcularemos el factor de seguridad en el talud “Chulucana” para los distintos tipos de rotura que se ha evidenciado en el Software Dips. Para lo cual se analizará la sección del talud en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Este análisis consiste en determinar si existe suficiente resistencia de los parámetros de rugosidad y relleno para soportar los esfuerzos cortantes que tienden a causar la falla o deslizamiento.

El procesamiento se realizó con el software Rocplane y Swedge de Rocscience, mediante dos métodos (Mohr-Coulomb), para esto tendremos en cuenta la orientación de las discontinuidades críticas de las distintas estaciones geomecánicas, el perfil del talud y los valores de peso Unitario cohesión y ángulos de fricción.

#### **Sismicidad**

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas y pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. (Suarez , 2009).

### Zonas Sísmicas del Perú

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

### Proyecto de Norma E 030, 2014

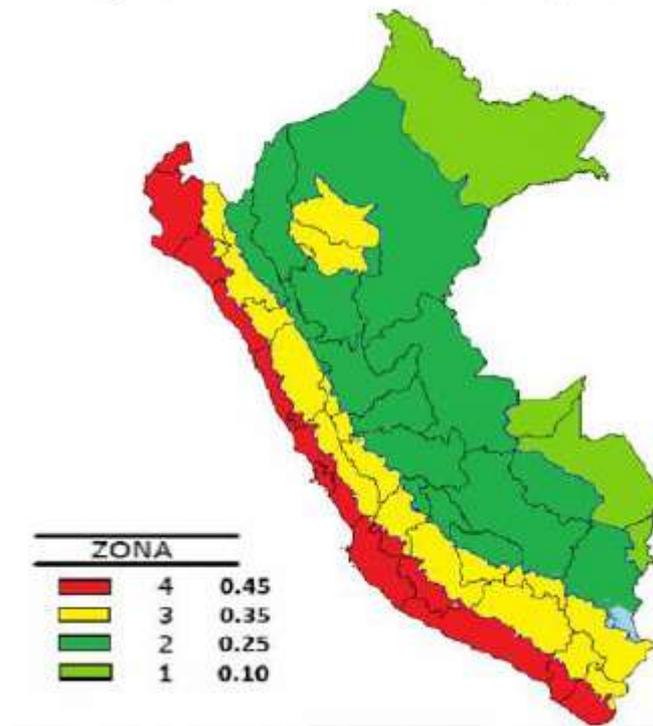


Figura 21. Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).  
Fuente: Google.

### Coefficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas Geográficas:

**Tabla 15**

*Ubicación del talud.*

.Ubicación	Latitud	Longitud
<b>Talud “Chulucana”</b>	-7.3	-78.2

Nota: Evidenciamos las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de ubicación del Talud “Chulucana”. Fuente: GPS.

**Tabla 16**

*Coordenadas UTM-WGS84.*

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	810045	9188993
V2	812045	9188993
V3	812045	9190993
V4	810045	9190993

Nota. En la tabla podemos apreciar los vértices de nuestra zona de estudio con sus respectivas coordenadas este y norte. Fuente: GPS.

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

Para las secciones de análisis se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción. Para el caso de nuestro talud la roca presente es la arenisca, según su ubicación le corresponde un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$ , teniendo en consideración las estaciones geomecánicas.

Con toda la información obtenida anteriormente procederemos a discriminar, procesar e interpretar para ello se hará uso de softwares de ingeniería como: ArcGIS 10.3, AutoCAD 2021, Dips v6.0, RocData v6.0, Swedge, Slide v6.0 gracias a los cuales pudimos diseñar diversos mapas y obtener resultados como FS para así cumplir con el objetivo de esta investigación.

1° Para poder continuar con nuestro análisis será necesario determinar nuestro GSI para eso haremos uso de la tabla “Índice Geológico de Resistencia” teniendo en cuenta la estructura del macizo rocoso y la condición en la que se encuentran las discontinuidades.

Otra manera de hallar el valor del GSI es mediante la fórmula:  $GSI = RMR_{89} - 5$  en nuestra estación e1 el valor del RMR salió 55, si aplicamos la fórmula saldría de la siguiente manera:

### **Ecuación 3. Cálculo del GSI**

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

$$GSI = 55 - 5$$

$$GSI = 50$$

2° Ahora haremos uso del software RocData v5.0 para poder obtener nuestros valores de “mb, s, a, Cohesión y ángulo de fricción”. Como primer parámetro a ingresar será la resistencia a la compresión en donde tendremos en cuenta nuestros resultados que se obtuvieron siguiendo los procedimientos anteriores.

3° El siguiente dato a ingresar será nuestro GSI y será el valor que hemos hallado en el paso N° 1.

4°. El valor de “mi” a ingresar será teniendo en cuenta el tipo de roca presente, para nuestro caso la arenisca (Sandstone).

5°. Como siguiente dato a necesitar será el factor de disturbancia “D” el cual lo obtendremos teniendo en cuenta la obra civil en la que estamos trabajando y su nivel de voladura.

6° Seguidamente ingresaremos el valor de MR teniendo como referencia el tipo de roca (arenisca).

7° Para finalizar indicaremos al software que realice el análisis para un talud con una altitud de 6m y un peso específico de  $0.026 \text{ MN/m}^3$ .

8° Para poder determinar los tipos de fallas presentes en nuestro talud exportaremos nuestros datos de buzamiento y dip direction al software Dips.

**Tabla 17**

*Datos obtenidos con la brújula.*

<b>TALUD</b>	<b>DIP: 70</b>	<b>AZIMUT 350°</b>
	<b>DIP DIRECTION: 80</b>	

ESTACIÓN 1			ESTACIÓN 2			ESTACIÓN 3		
FA M	BU Z	DIP DIRECTION	FA M	BU Z	DIP DIRECTION	FAM	BU Z	DIP DIRECTION
1	58	N192	1	54	N185	1	58	N190
1	56	N190	1	54	N185	1	57	N191
1	56	N191	1	52	N185	1	57	N191
1	57	N191	1	53	N186	1	57	N190
1	56	N191	1	52	N185	1	58	N191
1	57	N191	1	54	N185	1	56	N190
1	57	N190	1	53	N184	1	58	N191
1	58	N192	1	53	N185	1	58	N191
1	58	N191	1	52	N184	1	57	N190
1	56	N190	1	54	N185	1	56	N190
2	52	N330	2	50	N329	2	51	N330
2	52	N329	2	49	N328	2	53	N329
2	51	N329	2	49	N329	2	51	N330
2	53	N328	2	49	N329	2	52	N329
2	52	N328	2	48	N330	2	52	N331
2	52	N330	2	51	N330	2	52	N330
2	53	N329	2	50	N328	2	53	N330
2	52	N329	2	51	N329	2	52	N329
2	52	N328	2	49	N329	2	51	N331
2	51	N329	2	50	N329	2	52	N329
3	49	N92	3	48	N89	3	46	N90
3	48	N91	3	47	N90	3	48	N88
3	50	N90	3	47	N90	3	47	N89
3	49	N90	3	48	N89	3	47	N89
3	49	N91	3	47	N89	3	46	N90
3	50	N91	3	47	N90	3	48	N89
3	48	N91	3	48	N89	3	48	N89
3	50	N92	3	47	N88	3	46	N90
3	49	N92	3	47	N90	3	47	N89
3	50	N90	3	47	N88	3	46	N90

**ESTACIÓN 4**

**ESTACIÓN 5**

<i>FA</i>	<i>BU</i>	<i>DIP</i>	<i>FA</i>	<i>BU</i>	<i>DIP</i>
<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>DIRECTION</i>	<i>M</i>	<i>Z</i>	<i>DIRECTION</i>
1	56	N191	1	55	N192
1	57	N193	1	55	N191
1	57	N193	1	55	N191
1	58	N191	1	54	N190
1	57	N192	1	56	N191
1	57	N192	1	55	N192
1	58	N193	1	54	N192
1	57	N191	1	54	N191
1	58	N192	1	55	N192
1	57	N192	1	54	N192
2	50	N329			
2	52	N329			
2	52	N331			
2	51	N330			
2	52	N330			
2	50	N331			
2	52	N329			
2	51	N329			
2	50	N330			
2	51	N331			
3	48	N89			
3	47	N90			
3	47	N90			
3	47	N88			
3	46	N90			
3	48	N89			
3	47	N89			
3	46	N88			
3	48	N90			
3	47	N89			

Nota. En esta tabla podemos apreciar las familias, el buzamiento y el DIP DIRECTION de cada una de las 5 estaciones que hemos realizado en nuestra área de trabajo. Fuente: Propia.

### ASPECTOS ÉTICOS

Los softwares utilizados son de libre descarga por lo cual no requirieron licencia para su uso pero esto no afectó su nivel de eficiencia al momento de procesar los datos, durante la realización de la tesis se respetó en todo momento la propiedad privada como viene a ser los cultivos, viviendas, flora, fauna presente en la zona de estudio, de igual manera debido a la coyuntura social por la cual estamos atravesando, se respetó los decretos del estado en cuanto a movilización y en todo momento seguimos con los protocolos del uso correcto de las mascarillas como se podrá evidenciar en algunas fotografías adjuntadas en esta investigación.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Geología

Las unidades geológicas fueron identificadas y clasificadas teniendo como referencia estándares publicados del INGEMMET.

#### 3.1.1. Geomorfología

Hablando geomorfológicamente en nuestra zona de estudio encontramos lo siguiente:

##### Colinas

Protuberancias en el terreno que por lo general no supera los 100m desde la base hasta la cima.



*Figura 22.* En la imagen podemos ver una colina presente en nuestra zona de estudio con una orientación SW – NE.

## Laderas

Masas de tierra o roca que presentan una inclinación y pendiente considerable, está compuesta por depósitos aluviales.



*Figura 23.* Podemos apreciar un ejemplo de una ladera presente en nuestra zona de estudio. Con orientación NE – SW.

## Planicies

Están presentes en las zonas más cercanas a la ciudad de San Marcos. Son de pendiente muy baja y utilizada ampliamente por los pobladores para desarrollar sus actividades de ganadería y agricultura lo cual representa su principal fuente de ingresos.



*Figura 24.* En la fotografía se observa una planicie con orientación NE – SW.

### **3.1.2. Estratigrafía**

La estratigrafía local está representada principalmente por unidades del Cretáceo Inferior pertenecientes al grupo Goyllarisquizga como lo son la Formación Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat. (Bazán , 2013)

#### **Formación Chimú (Fm-chi)**

Principal formación en nuestra zona de estudio y extendiéndose al SW de la misma, conformada por una alternancia de areniscas de grano medio y lutitas en la parte inferior.

#### **Formación Santa (Fm-s)**

Presente al SW de nuestra estación infrayaciendo a la formación Chimú. Consiste en la intercalación de lutitas grises y calizas margosas.

#### **Formación Carhuaz (Fm-ca)**

Presente al Sur de nuestra zona de estudio Sobreyaciendo a la formación Farrat. Consiste en la intercalación de areniscas rojizas y cuarcitas blancas intercaladas con lutitas grises.

#### **Formación Farrat (Fm-f)**

Presente al Sur de la zona de estudio subyacente a la formación Carhuaz. Compuestas por areniscas blancas de grano medio a grueso y cuarcitas.

### **3.1.3. Depósitos Cuaternarios**

#### **Depósito Aluvial (Q-al)**

Se encuentra conformado por sedimentos en las que el agua fue el principal agente de transporte generando una mezcla de materiales angulosos y subangulosos, redondeados y subredondeados.

## **3.2. Clasificación Geomecánica**

### **3.2.1. RMR de Bieniawski**

**Tabla 18**

*Resistencia a la compresión Estación 1.*

Clase (a).	Calificación de la roca según su resistencia.	Resistencia Uniaxial (MPa).	Índice de carga puntual (MPa).	Estimación en terreno de la resistencia.	Ejemplos.
<b>R6</b>	Extremadamente Resistente.	> 250	>10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
<b>R5</b>	Muy resistente	100-250	4-10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, riolita.
<b>R4</b>	Resistente.	50-100	2-4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquisto, pizarras.
<b>R3</b>	Moderadamente Resistente.	25-50	1-2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe, pero no es posible descostrar la roca con una navaja.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
<b>R2</b>	Débil.	5-25	(b)	Un golpe con la punta del martillo deja una indentación superficial.	Creta, sal mineral, potasio.
<b>R1</b>	Muy Débil.	1-5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
<b>R0</b>	Extremadamente Débil.	0.25-1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Nota. Vemos que el tipo de roca de esta estación es muy resistente que corresponde a un valor de 100 – 250 MPa. y su índice de carga puntual está entre 2 – 4 MPa. El tipo de roca presente en nuestra área de trabajo es arenisca.

**Tabla 19**

*Cálculo de RQD estación N° 1.*

INDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
90 - 100	Excelente	20
75 - 90	Buena	17
50 - 75	Regular	13
25 - 50	Mala	8
<25	Muy mala	3

Nota. Apreciamos que para esta estación la calidad de roca e regular y su valor del RQD será de 13.

**Tabla 20**

*Espaciamiento entre discontinuidades estación N° 1.*

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 - 2 m.	Masivo	15
Moderadamente juntas	200-600 mm.	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm.	Fracturado	8
Muy juntas	< 60mm	Machacado	5

Nota. Su medida del espaciamiento de las rocas de esta estación está entre 200 - 600 mm. que corresponde a la descripción de moderadamente juntas se encuentran en bloques y su valorización es de 10.

**Tabla 21**

*Persistencia estación N° 1.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Nota. La longitud vertical del talud es de 6 m. el cual está entre 6 - 10 m, de continuidad su descripción es media y su valoración correspondiente es 2.

**Tabla 22**

*Apertura estación N° 1.*

<b>GRADO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SEPARACION DE LAS CARAS</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<b>1</b>	Cerrada	0	<b>6</b>
<b>2</b>	Muy Angosta	< 0,1 mm	<b>5</b>
<b>3</b>	Angosta	0,1 – 1 mm	<b>4</b>
<b>4</b>	Abierta	1 – 5 mm	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Muy Abierta</b>	<b>&gt; 5mm</b>	<b>0</b>

Nota. La apertura de las rocas de esta estación es de 1 – 5 mm. Se describe como abierta y una valoración de 1.

**Tabla 23**

*Rugosidad estación N° 1.*

<b>GRADO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<b>1</b>	Muy rugosa	<b>6</b>
<b>2</b>	Rugosa	<b>5</b>
<b>3</b>	Ligeramente rugosa	<b>3</b>
<b>4</b>	Lisa	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Muy Lisa</b>	<b>0</b>

Nota. En esta estación la roca es rugosa y su valoración es de 5.

**Tabla 24**

*Relleno de las discontinuidades estación N° 1.*

<b>GRADO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALORACIÓN</b>
<b>1</b>	Ninguno	<b>6</b>
<b>2</b>	Duro < 5 mm	<b>4</b>
<b>3</b>	Duro > 5mm.	<b>2</b>
<b>4</b>	Blando < 5mm	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Blando &gt; 5 mm</b>	<b>0</b>

Nota. El relleno de las discontinuidades de esta estación es menor a 5 mm. cuya descripción es relleno blando y su valoración es de 1.

**Tabla 25**

*Alteración de la roca estación N° 1.*

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	No meteorizada	6
2	Ligeramente	5
3	Moderadamente	3
4	Altamente Meteorizada	1
5	Descompuesta	0

Nota. La roca de esta estación esta moderadamente meteorizada y su valor correspondiente es de 3.

**Tabla 26**

*Presencia de agua estación N° 1.*

DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Completamente Seco	15
Húmedo	10
Mojado	7
Goteo	4
Flujo	0

Nota. La roca de esta estación está húmeda y su valoración es de 10.

**Tabla 27**

*Orientación de las discontinuidades estación N° 1.*

Rumbo perpendicular al eje de la excavación				Rumbo Paralelo al eje de la excavación		Buzamiento 0 -20° independiente del rumbo
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento		Buz 45° - 90°	Buz 20°- 45°	
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45°-90°	Buz 20° - 45°			Buz 45° - 90°
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

Nota. La orientación de las discontinuidades presentan un buzamiento entre 20° - 45° esto quiere decir que presenta una orientación media y su valor seria de -5.

Tabla 28

RMR estación N° 1.

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL		Coordenadas: E 811045 N 9189993 2409 msnm.		Labor: Talud Chulucanas										
Registro N°		Ubicación: Pedro Gálvez, San Marcos.		Fecha: 21-10-2020.										
01		Litología: Areniscas.		Hecho por: Jhordann & Geyny.										
		Rumbo perpendicular al eje de la excavacion		Rumbo paralelo al eje de la excavacion		Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo								
		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento										
		Bz		Bz		Bz								
		45°-90°		20°-45°		45°-90°								
		Muy Favorable		Favorable		Regular								
		0		-2		-5								
		-10		-12		-5								
		-10		-10		-10								
ESTACION 1	σc	RQD (115-3.3(Jv))	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	CLASIFICACION DEL MACIZO	
	Resistencia a la Compresión			Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración					RMR	DESCRIPCION
	15 12 7 4 2			6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0					15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12
1.- > 250 MPa 2.- 100-250 MPa 3.- 50-100 MPa 4.- 25-50 MPa 5.- < 25 MPa	1.- > 2 m 2.- 0.6-2 m 3.- 200-600 mm 4.- 60-200 mm 5.- < 60 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5mm 3.- Relleno duro > 5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo	1.- Muy favorable 2.- Favorable 3.- Regular 4.- Desfavorable 5.- Muy desfavorable						
1	(175MPa)12	(Jv 15) 13	(11cm) 8	(6m) 2	(3mm) 1	5	1	3	10	(68°) -5	55	50	REGULAR B	
2	(160MPa)12	(Jv 13) 13	(14cm) 8	(6m) 2	(2mm) 1	5	1	3	10	(66°) -5	55	50	REGULAR B	
3	(160MPa)12	(Jv 12) 17	(13cm) 8	(6m) 2	(4mm) 1	5	0	3	10	(66°) -5	56	51	REGULAR A	
4	(165MPa)12	(Jv 13) 13	(13cm) 8	(6m) 2	(3mm) 1	5	1	3	10	(65°) -5	55	50	REGULAR B	
5	(160MPa)12	(Jv 14) 13	(12cm) 8	(6m) 2	(3mm) 1	3	1	3	10	(67°) -5	53	48	REGULAR B	
6	(170MPa)12	(Jv 13) 13	(11cm) 8	(6m) 2	(2mm) 1	5	1	3	10	(68°) -5	55	50	REGULAR B	
7	(168MPa)12	(Jv 14) 13	(12cm) 8	(6m) 2	(4mm) 1	5	1	3	10	(66°) -5	55	50	REGULAR B	
8	(170MPa)12	(Jv 13) 13	(12cm) 8	(6m) 2	(2mm) 1	3	1	3	10	(67°) -5	53	48	REGULAR B	
9	(167MPa)12	(Jv 15) 13	(11cm) 8	(6m) 2	(3mm) 1	5	0	3	10	(67°) -5	54	49	REGULAR B	
10	(166MPa)12	(Jv 14) 13	(12cm) 8	(6m) 2	(2mm) 1	5	1	3	10	(68°) -5	55	50	REGULAR B	
11	PROMEDIO:													
12	12	13	8	2	1	5	1	3	10	-5	55	50	REGULAR B	

Nota. Observamos que en esta estación el RMR Básico es 55, el RMR corregido es 50 y el tipo de roca es Regular B. Fuente: Propia.

**Tabla 29**

RMR estación N°2.

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL		Coordenadas: E 811045 N 9189993 2409 msnm.		Labor: Talud Chulucanas									
		Ubicación: Pedro Gálvez, San Marcos.		Fecha: 21-10-2020.									
Registro N°		Litología: Areniscas.		Hecho por: Jhordann & Geyny.									
		Rumbo perpendicular al eje de la excavación		Rumbo paralelo al eje de la excavación									
02		Dirección con el buzamiento		Dirección contra el buzamiento									
		Buzamiento 0°-20° Independiente del rumbo											
ESTACIÓN 2		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea									
		Orientación Discontinuidades											
σc		RQD (115-3.3(Jv))		Espaciamiento entre Discontinuidad									
Resistencia a la Compresión				Persistencia									
Apertura		Rugosidad		Relleno									
Alteración		Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades									
15		20		6									
12		17		5									
7		13		4									
4		8		3									
2		3		0									
1.- > 250 Mpa		1.- 90-100%		1.- >2 m									
2.- 100-250 Mpa		2.- 75-90%		2.- 0.6-2 m									
3.- 50-100 Mpa		3.- 50-75%		3.- 200-600 mm									
4.- 25-50 Mpa		4.- 25-50%		4.- 60-200 mm									
5.- < 25 Mpa		5.- < 25%		5.- < 60 mm									
1.- > 2 m		1.- < 1 m		1.- Cerrada 0									
2.- 0.6-2 m		2.- 1-3 m		2.- Muy Angosta < 0.1 mm									
3.- 200-600 mm		3.- 3-10 m		3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm									
4.- 60-200 mm		4.- 10-20 m		4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm									
5.- < 60 mm		5.- > 20 m		5.- Muy abierta > 5.0 mm									
1.- > 2 m		1.- Muy rugoso		1.- Ninguna									
2.- 0.6-2 m		2.- Rugoso		2.- Relleno duro < 5mm									
3.- 200-600 mm		3.- Ligeramente rugosa		3.- Relleno duro > 5mm									
4.- 60-200 mm		4.- Lisa		4.- Relleno blanco < 5mm									
5.- < 60 mm		5.- Muy lisa		5.- Relleno blanco > 5mm									
1.- > 2 m		1.- No meteorizada		1.- Completamente seco									
2.- 0.6-2 m		2.- Ligeramente		2.- Húmedo									
3.- 200-600 mm		3.- Moderadamente		3.- Mojado									
4.- 60-200 mm		4.- Altamente meteorizada		4.- Gotico									
5.- < 60 mm		5.- Descompuesta		5.- Flujo									
1.- > 2 m		1.- Muy favorable		1.- Muy favorable									
2.- 0.6-2 m		2.- Favorable		2.- Favorable									
3.- 200-600 mm		3.- Regular		3.- Regular									
4.- 60-200 mm		4.- Desfavorable		4.- Desfavorable									
5.- < 60 mm		5.- Muy desfavorable		5.- Muy desfavorable									
1	(45MPa) 4	(Jv 20) 8	(5cm) 5	(6m) 2	(3mm) 1	3	1	1	10	(68°) -5	35	30	MALA B
2	(40MPa) 4	(Jv 21) 8	(4cm) 5	(6m) 2	(2mm) 1	3	1	1	10	(70°) -5	35	30	MALA A
3	(40MPa) 4	(Jv 22) 8	(4cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	5	0	1	10	(67°) -5	35	30	MALA B
4	(38MPa) 4	(Jv 23) 8	(5cm) 5	(6m) 2	(3mm) 1	3	1	1	10	(69°) -5	35	30	MALA B
5	(42MPa) 4	(Jv 21) 8	(4cm) 5	(6m) 2	(3mm) 1	3	1	1	10	(67°) -5	35	30	MALA B
6	(38MPa) 4	(Jv 24) 8	(3cm) 5	(6m) 2	(4mm) 1	5	1	1	10	(70°) -5	37	32	MALA A
7	(44MPa) 4	(Jv 23) 8	(3cm) 5	(6m) 2	(4mm) 1	3	0	1	10	(68°) -5	34	29	MALA B
8	(45MPa) 4	(Jv 23) 8	(5cm) 5	(6m) 2	(5mm) 1	3	1	1	10	(69°) -5	35	30	MALA B
9	(39MPa) 4	(Jv 21) 8	(4cm) 5	(6m) 2	(7mm) 0	3	1	1	10	(70°) -5	34	29	MALA B
10	(44MPa) 4	(Jv 22) 8	(3cm) 5	(6m) 2	(3mm) 1	3	1	1	10	(68°) -5	35	30	MALA B
11	<b>PROMEDIO:</b>												
12	4	8	5	2	1	3	1	1	10	-5	35	30	MALA B

Nota. Observamos que en esta estación el RMR Básico es 35, el RMR corregido es 30 y el tipo de roca es Mala B. Fuente: Propia.

**Tabla 30**

RMR estación N° 3.

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL		Coordenadas: E 811045 N 9189993 2409 msnm.		Labor: Talud Chulucanas																																									
		Ubicación: Pedro Gálvez, San Marcos.		Fecha: 21-10-2020.																																									
Registro N°		Litología: Areniscas.		Hecho por: Jhordann & Geyny.																																									
		Rumbo perpendicular al eje de la excavacion		Rumbo paralelo al eje de la excavacion																																									
03		Direccion con el buzamiento		Direccion contra el buzamiento																																									
		Bz		Bz																																									
		45°-90°		45°-90°																																									
		Muy Favorable		Desfavorable																																									
		20°-45°		20°-45°																																									
		Favorable		Regular																																									
		0°		0°																																									
		Muy Favorable		Muy Desfavorable																																									
		0°-20°		0°-20°																																									
		Favorable		Regular																																									
		20°-45°		20°-45°																																									
		Regular		Desfavorable																																									
		45°-90°		45°-90°																																									
		Muy Favorable		Muy Desfavorable																																									
		90°		90°																																									
		Desfavorable		Muy Desfavorable																																									
		0°-20°		0°-20°																																									
		Favorable		Regular																																									
		20°-45°		20°-45°																																									
		Regular		Desfavorable																																									
		45°-90°		45°-90°																																									
		Muy Favorable		Muy Desfavorable																																									
		90°		90°																																									
		Desfavorable		Muy Desfavorable																																									
ESTACION 3	Σc	RQD (115-3.3(Jv))		Espaciamento entre Discontinuidad		CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea		Orientación Discontinuidades		RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	OBSERVACIONES																												
	Resistencia a la Compresión	15	12	7	4	2	20	15	10	8	5	6	4	2				1	0	6	5	4	1	0	6	5	3	1	0	6	4	2	1	0	6	5	3	1	0	15	10	7	4	0	0
1	(175MPa)	12	(Jv 12)	17	(22cm)	10	(6m)	2	(3mm)	1	5	1	3	10	(68°)	-5	61	56	REGULAR A																										
2	(170MPa)	12	(Jv 10)	17	(20cm)	10	(6m)	2	(2mm)	1	3	1	3	10	(71°)	-5	59	54	REGULAR A																										
3	(179MPa)	12	(Jv 12)	17	(20cm)	10	(6m)	2	(4mm)	1	5	0	3	10	(67°)	-5	60	55	REGULAR A																										
4	(180MPa)	12	(Jv 11)	17	(21cm)	10	(6m)	2	(2mm)	1	5	1	3	10	(70°)	-5	61	56	REGULAR A																										
5	(175MPa)	12	(Jv 12)	17	(23cm)	10	(6m)	2	(2mm)	1	5	1	3	10	(69°)	-5	61	56	REGULAR A																										
6	(178MPa)	12	(Jv 10)	17	(21cm)	10	(6m)	2	(3mm)	1	5	1	3	10	(71°)	-5	61	56	REGULAR A																										
7	(175MPa)	12	(Jv 10)	17	(23cm)	10	(6m)	2	(5mm)	1	5	1	3	10	(68°)	-5	61	56	REGULAR A																										
8	(179MPa)	12	(Jv 10)	17	(20cm)	10	(6m)	2	(5mm)	1	3	1	3	10	(68°)	-5	59	54	REGULAR A																										
9	(175MPa)	12	(Jv 12)	17	(20cm)	10	(6m)	2	(2mm)	1	5	1	3	10	(70°)	-5	61	56	REGULAR A																										
10	(173MPa)	12	(Jv 11)	17	(21cm)	10	(6m)	2	(4mm)	1	5	1	3	10	(71°)	-5	61	56	REGULAR A																										
11	<b>PROMEDIO:</b>																																												
12	12	17	10	2	1	5	1	3	10	-5	61	56	REGULAR A																																

Nota. Observamos que en esta estación el RMR Básico es 61, el RMR corregido es 56 y el tipo de roca es Regular A. Fuente: Propia.



**Tabla 32**

RMR estación N° 5.

MAPEO GEOMECANICO RMR MAPEO LINEAL					Coordenadas: E 811045 N 9189993 2409 msnm.		Labor: Talud Chulucanas							
					Ubicación: Pedro Gálvez, San Marcos.		Fecha: 21-10-2020.							
					Litología: Areniscas.		Hecho por: Jhordann & Geyny.							
Registro N°		05						CLASIFICACION DEL MACIZO						
					CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					ROCOSO RMR				
ESTACIÓN 5	sc	RQD (115-3.3(Jv))	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Agua Subterránea	Orientación Discontinuidades	RMR BÁSICO	RMR CORREGIDO	RMR	DESCRIPCION
	Resistencia a la Compresión			Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración					RMR	DESCRIPCION
	15 12 7 4 2	20 17 13 8 3	20 15 10 8 5	6 4 2 1 0	6 5 4 1 0	6 5 3 1 0	6 4 2 1 0	6 5 3 1 0	15 10 7 4 0	0 -2 -5 -10 -12				
	1.- > 250 Mpa 2.- 100-250 Mpa 3.- 50-100 Mpa 4.- 25-50 Mpa 5.- ≤ 25 Mpa	1.- 90-100% 2.- 75-90% 3.- 50-75% 4.- 25-50% 5.- < 25%	1.- > 2 m 2.- 0.6-2 m 3.- 200-600 mm 4.- 60-200 mm 5.- < 60 mm	1.- < 1m 2.- 1-3 m 3.- 3-10 m 4.- 10-20 m 5.- > 20 m	1.- Cerrada 0 2.- Muy Angosta < 0.1mm 3.- Angosta 0.1 - 1.0 mm 4.- Abierta 1.0 - 5.0 mm 5.- Muy abierta > 5.0 mm	1.- Muy rugoso 2.- Rugoso 3.- Ligeramente rugosa 4.- Lisa 5.- Muy lisa	1.- Ninguna 2.- Relleno duro < 5mm 3.- Relleno duro > 5mm 4.- Relleno blando < 5mm 5.- Relleno blando > 5mm	1.- No meteorizada 2.- Ligeramente 3.- Moderadamente 4.- Altamente meteorizada 5.- Descompuesta	1.- Completamente seco 2.- Húmedo 3.- Mojado 4.- Goteo 5.- Flujo	1.- Muy favorable 2.- Favorable 3.- Regular 4.- Desfavorable 5.- Muy desfavorable				
1	(20MPa) 2	(Jv 28) 3	(5cm) 5	(6m) 2	(7mm) 0	1	0	0	10	(68°) -5	23	18	MUY MALA A	
2	(23MPa) 2	(Jv 30) 3	(2cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	1	0	0	10	(71°) -5	23	18	MUY MALA A	
3	(21MPa) 2	(Jv 29) 3	(3cm) 5	(6m) 2	(8mm) 0	1	1	0	10	(70°) -5	24	19	MUY MALA A	
4	(24MPa) 2	(Jv 28) 3	(5cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	1	0	0	10	(69°) -5	23	18	MUY MALA A	
5	(22MPa) 2	(Jv 31) 3	(4cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	1	1	0	10	(67°) -5	24	19	MUY MALA A	
6	(24MPa) 2	(Jv 29) 3	(2cm) 5	(6m) 2	(7mm) 0	1	0	0	10	(71°) -5	23	18	MUY MALA A	
7	(21MPa) 2	(Jv 28) 3	(5cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	1	0	0	10	(68°) -5	23	18	MUY MALA A	
8	(23MPa) 2	(Jv 30) 3	(3cm) 5	(6m) 2	(6mm) 0	1	0	0	10	(70°) -5	23	20	MUY MALA A	
9	(24MPa) 2	(Jv 29) 3	(2cm) 5	(6m) 2	(7mm) 0	1	0	0	10	(69°) -5	25	18	MUY MALA A	
10	(22MPa) 2	(Jv 28) 3	(2cm) 5	(6m) 2	(7mm) 0	1	0	0	10	(69°) -5	23	18	MUY MALA A	
11	<b>PROMEDIO:</b>													
12	2	3	5	2	0	1	0	0	10	-5	23	18	MUY MALA A	

Nota. Observamos que en esta estación el RMR Básico es 23, el RMR corregido es 18 y el tipo de roca es muy mala A. Fuente: Propia.

### 3.2.2. GSI de Hoek y Brown.



*Figura 25.* Estación N° 1.



Figura 26. Para esta estación (Nº 1) podemos observar que el GSI se encuentra comprendido entre los valores de 50-55. Fuente: Primer Taller Geotécnico Interdivisional.



*Figura 27.* Estación N° 2.





*Figura 29.* Estación N° 3.



Figura 30. Para esta estación (N° 3) podemos observar que el GSI se encuentra comprendido entre los valores 55-60. Fuente: Primer Taller Geotécnico Interdivisional.



*Figura 31.* Estación N° 4.



Figura 32. Para esta estación (N° 4) podemos observar que el GSI se encuentra comprendido entre los valores 45-50. Fuente: Primer Taller Geotécnico Interdivisional.



*Figura 33.* Estación N° 5.

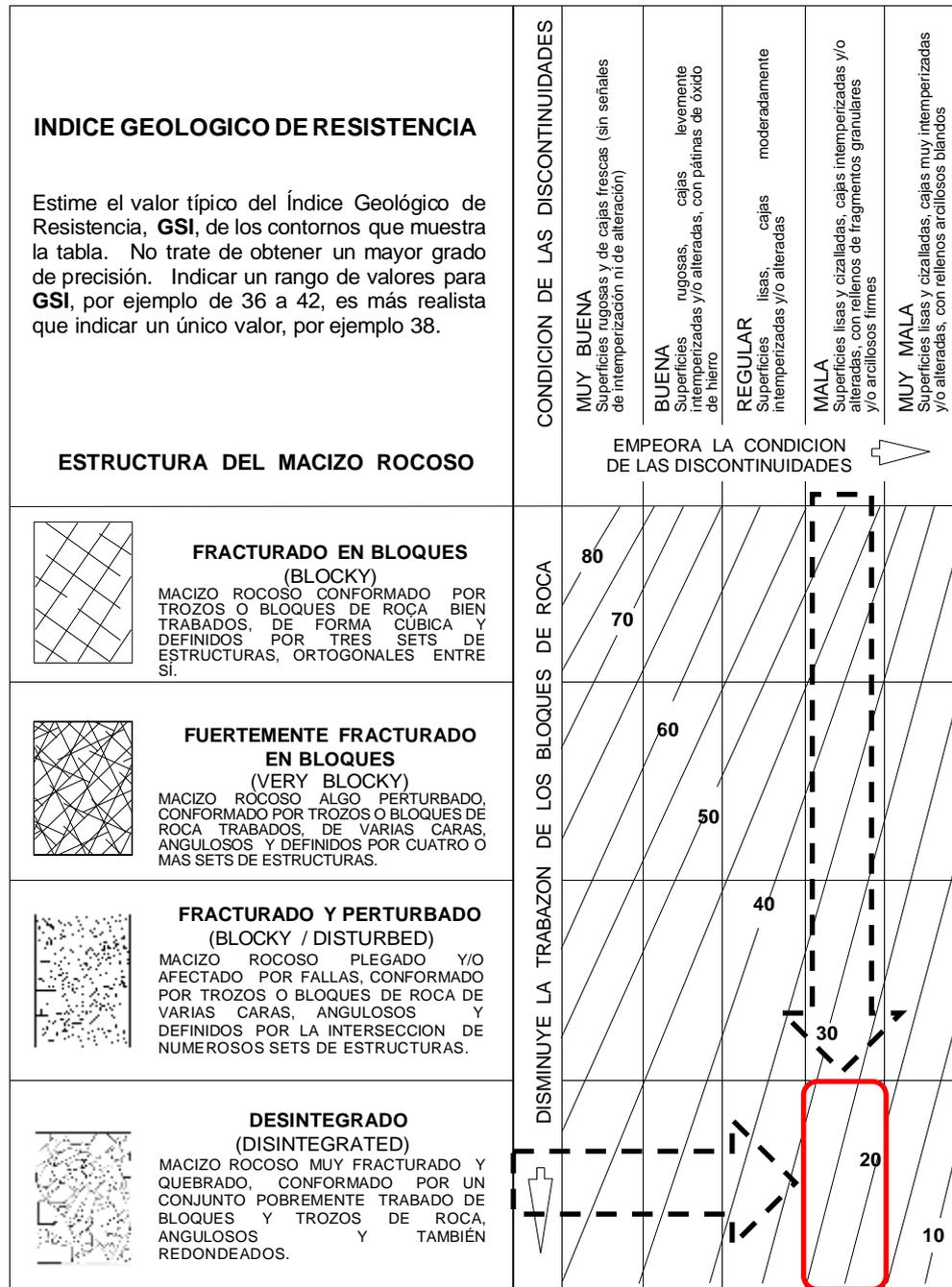


Figura 34. Para esta estación (N° 5) podemos observar que el GSI se encuentra comprendido entre los valores 15-20. Fuente: Primer Taller Geotécnico Interdivisional.

**Tabla 33**

Tabla de resultados de RMR y GSI.

ESTACIÓN N°	RMR	GSI
1	50 (REGULAR B)	50-55
2	30 (MALA B)	30-35
3	56 (REGULAR A)	55-60
4	46 (REGULAR B)	45-50
5	18 (MUY MALA A)	15-20

Nota. Resultados obtenidos tanto de RMR, como GSI de cada una de las 5 estaciones.

### 3.2.3. RocData

Utilizamos el software RocData v5.0 para poder obtener nuestros valores de “mb, s, a, Cohesión y ángulo de fricción

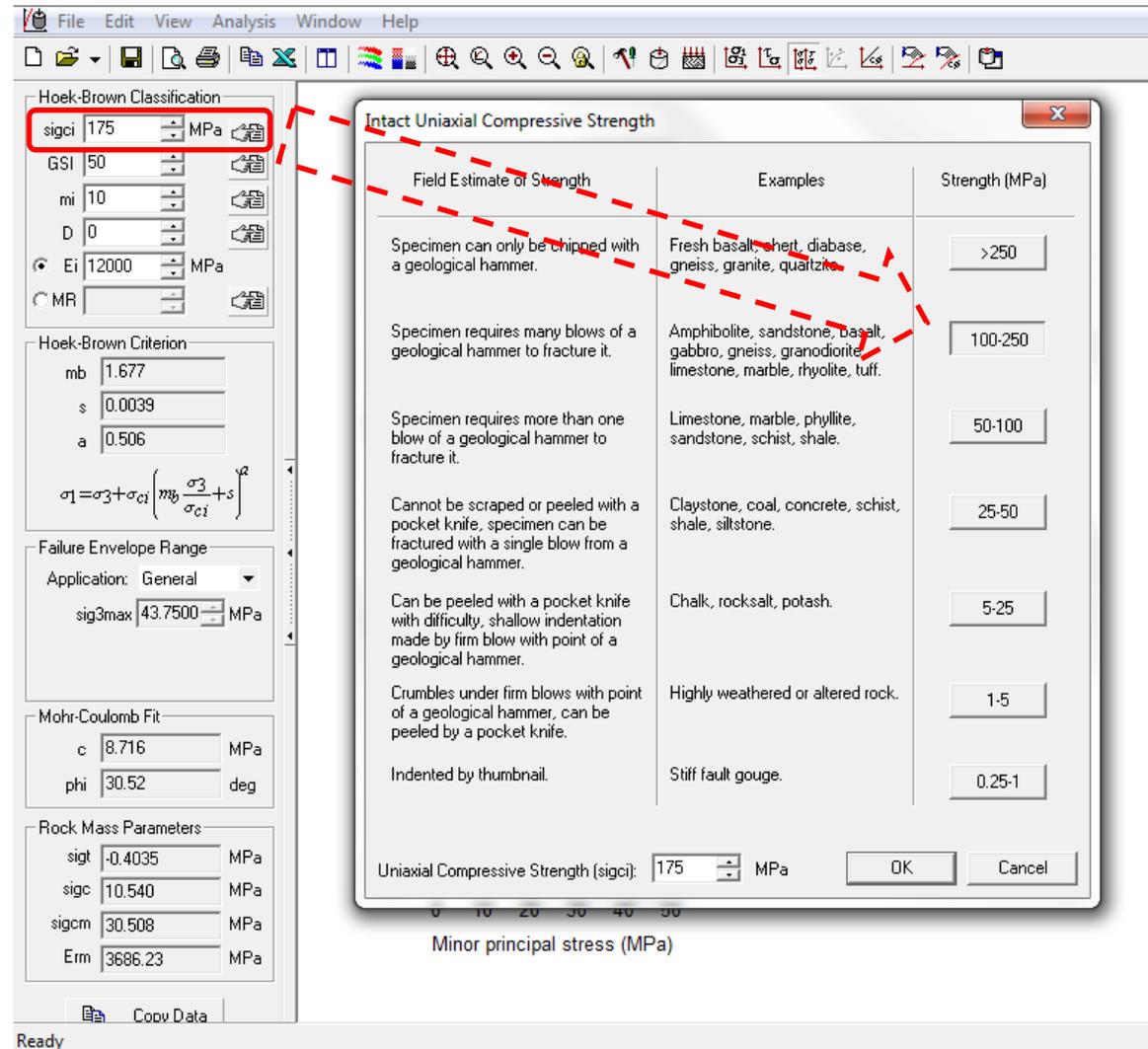


Figura 35. Ingresamos en el software RocData v5.0 el valor de la resistencia a la compresión que es de 175 MPa. Fuente: RocData v5.0.

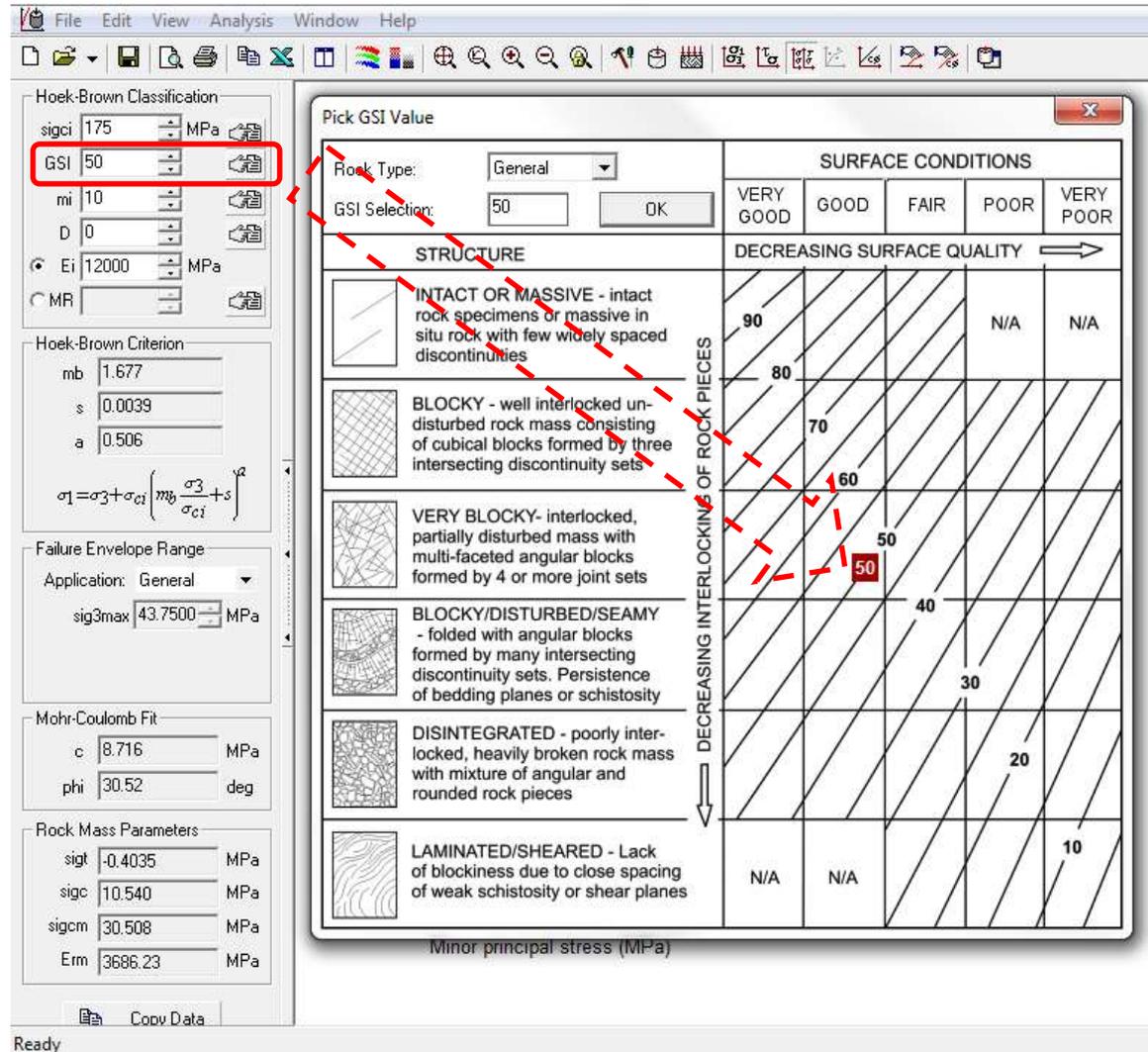


Figura 36. Ingresamos nutro dato de GSI cuyo valor es de 50. Fuente: RocData v5.0.

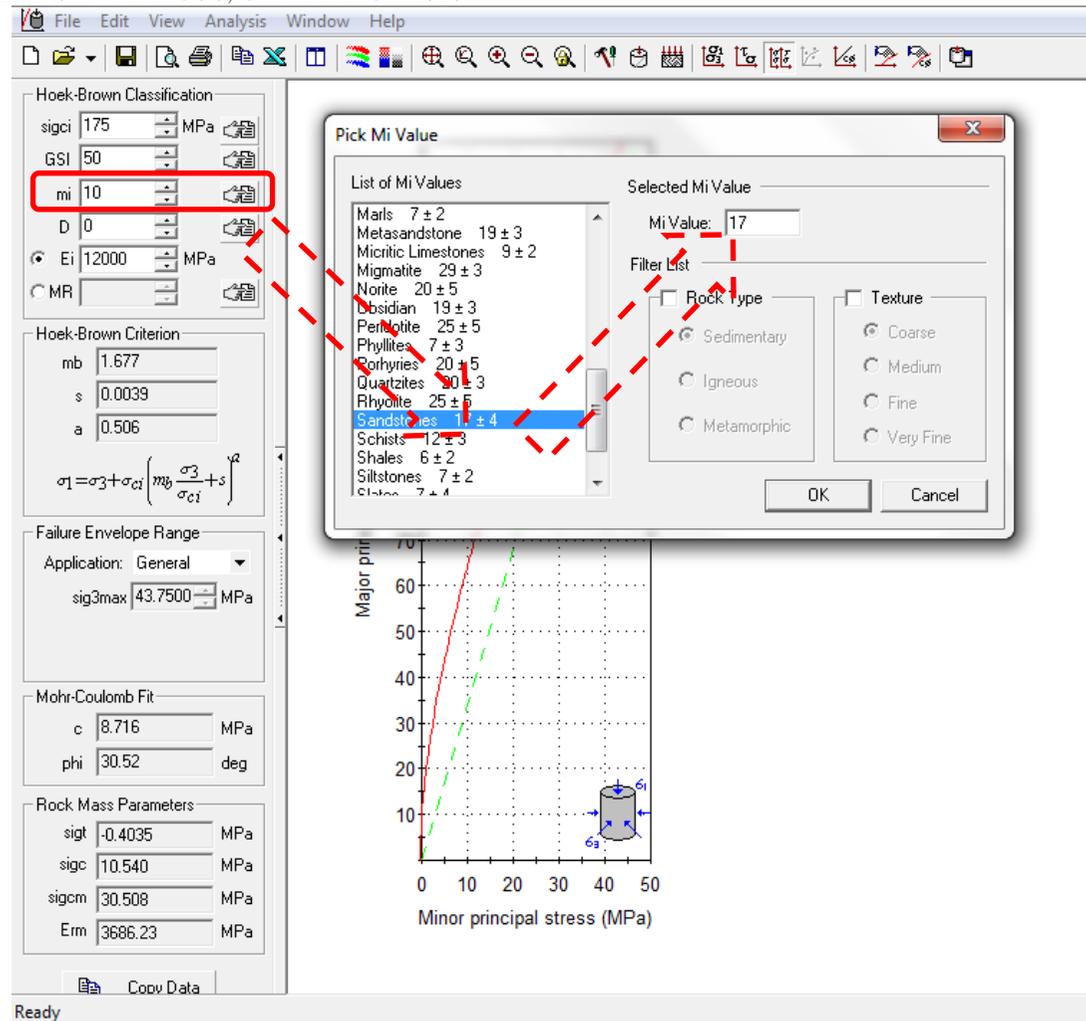


Figura 37. El valor de nuestro mi es de 17. Fuente: RocData v5.0.

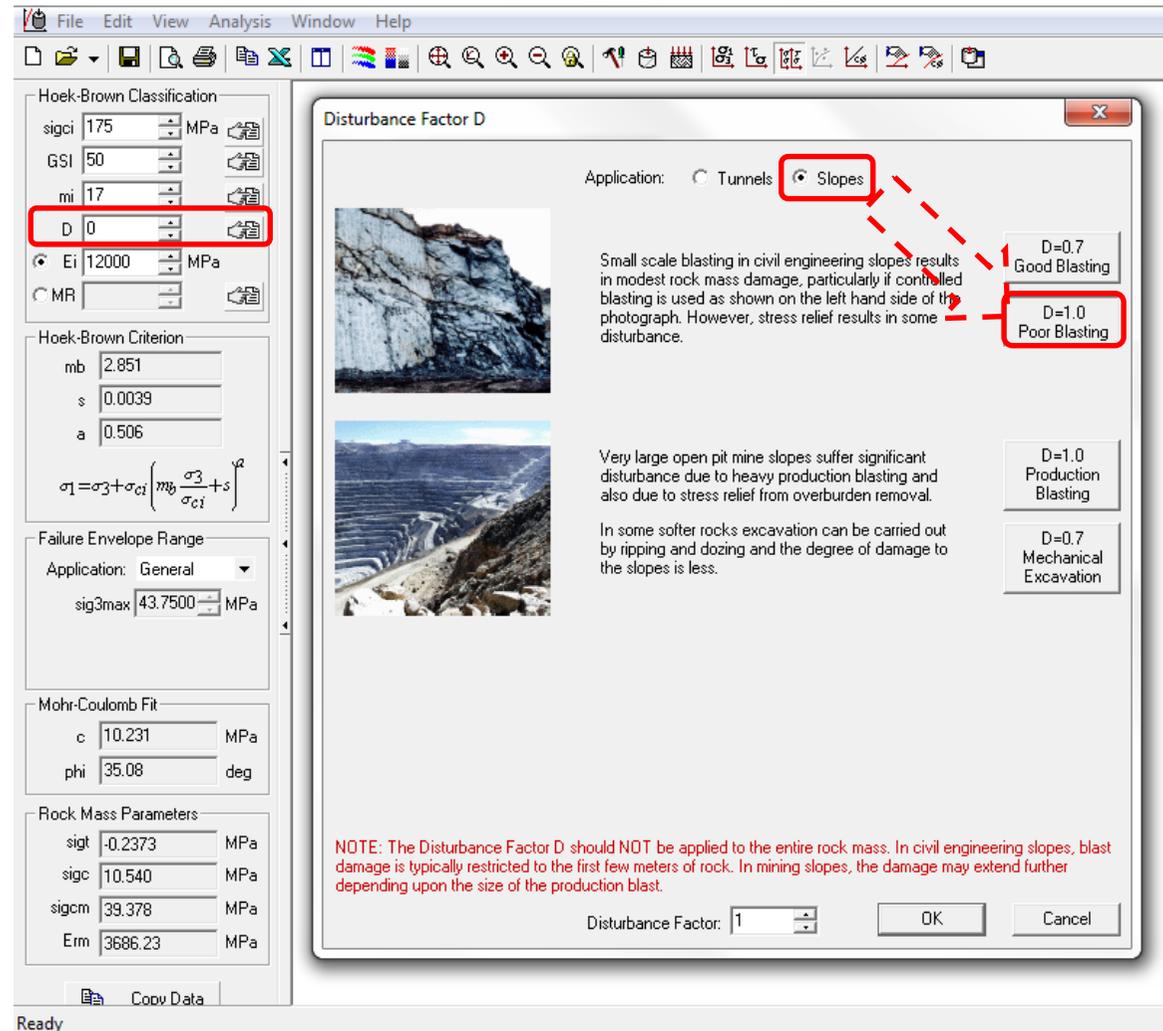
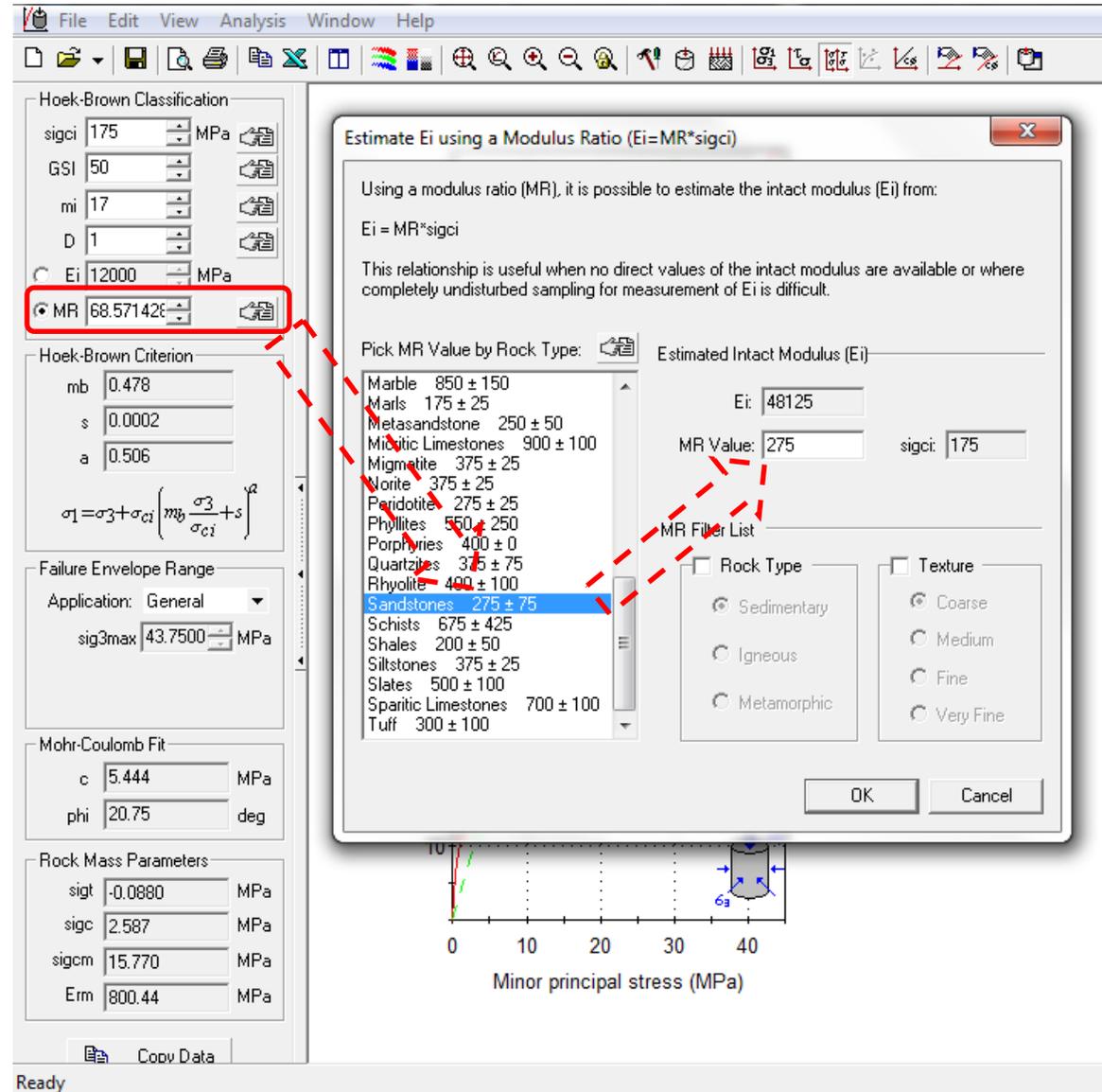


Figura 38. Nuestro factor de disturbancia (D) es de 1. Fuente: RocData v5.0.



Hoek-Brown Classification

sigci 175 MPa

GSI 50

mi 17

D 1

Ei 12000 MPa

MR 68.571428

Hoek-Brown Criterion

mb 0.478

s 0.0002

a 0.506

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: General

sig3max 43.7500 MPa

Mohr-Coulomb Fit

c 5.444 MPa

phi 20.75 deg

Rock Mass Parameters

sigt -0.0880 MPa

sigc 2.587 MPa

sigcm 15.770 MPa

Erm 800.44 MPa

Estimate Ei using a Modulus Ratio (Ei=MR\*sigci)

Using a modulus ratio (MR), it is possible to estimate the intact modulus (Ei) from:

Ei = MR\*sigci

This relationship is useful when no direct values of the intact modulus are available or where completely undisturbed sampling for measurement of Ei is difficult.

Pick MR Value by Rock Type:

Marble	850 ± 150
Marls	175 ± 25
Metasandstone	250 ± 50
Micritic Limestones	900 ± 100
Migmatite	375 ± 25
Monite	375 ± 25
Peridotite	275 ± 25
Phyllites	550 ± 250
Porphyries	400 ± 0
Quartzites	375 ± 75
Rhyolite	400 ± 100
Sandstones	275 ± 75
Schists	675 ± 425
Shales	200 ± 50
Siltstones	375 ± 25
Slates	500 ± 100
Sparitic Limestones	700 ± 100
Tuff	300 ± 100

Estimated Intact Modulus (Ei)

Ei: 48125

MR Value: 275 sigci: 175

MR Filter List

Rock Type

Sedimentary

Igneous

Metamorphic

Texture

Coarse

Medium

Fine

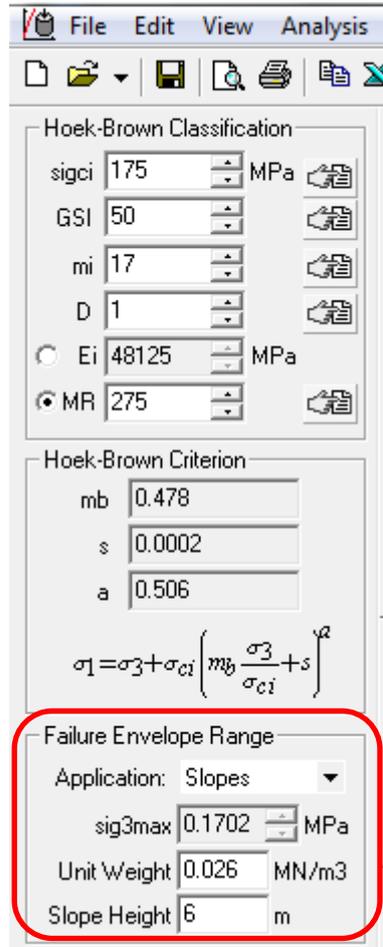
Very Fine

OK Cancel

Minor principal stress (MPa)

0 10 20 30 40

Figura 39. Obtenemos como valor de MR = 275. Fuente: RocData v5.0.



File Edit View Analysis

Hoek-Brown Classification

sigci 175 MPa  
 GSI 50  
 mi 17  
 D 1  
 Ei 48125 MPa  
 MR 275

Hoek-Brown Criterion

mb 0.478  
 s 0.0002  
 a 0.506

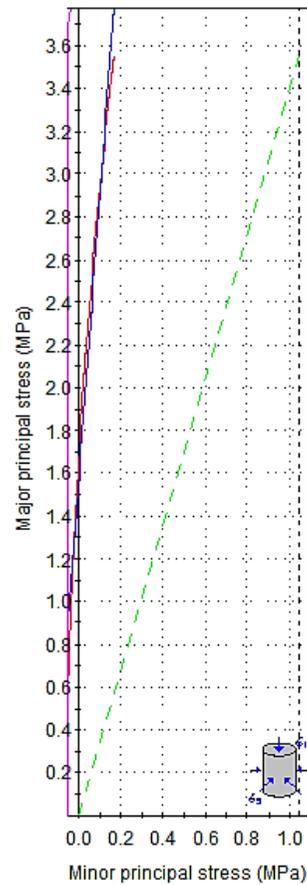
$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Failure Envelope Range

Application: Slopes  
 sig3max 0.1702 MPa  
 Unit Weight 0.026 MN/m3  
 Slope Height 6 m

Figura 40. Ingresamos los datos para que realicemos el análisis respectivo. Fuente: RocData v5.0.

TALUD "CHULUCANAS" SAN MARCOS-CAJAMARCA



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{cd}$ ) = 175 MPa  
 GSI = 45  $m_i$  = 17 Disturbance factor = 1  
 intact modulus (Ei) = 48 125 MPa  
 modulus ratio (MR) = 275

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.334  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.508

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.213 MPa friction angle = 59.33 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.055 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.661 MPa  
 global strength = 12.958 MPa  
 modulus of deformation = 2439.53 MPa

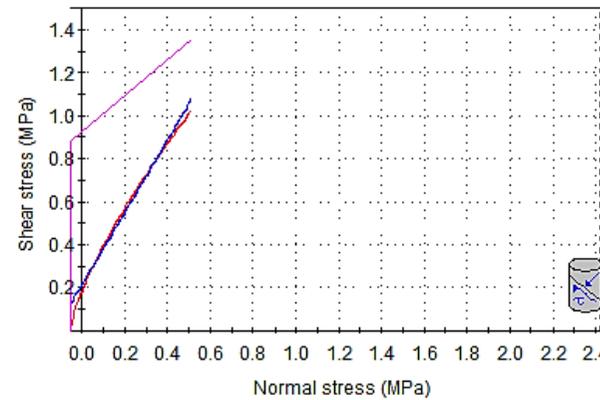


Figura 41. Observamos que los valores obtenidos para la estación 1 son:  $m_b = 0.334$ ;  $s = 0.0001$ ;  $a = 0.508$ ;  
 Cohesión = 0.213 MPa; y Ángulo de fricción = 59.33°. Fuente: RocData v5.0.

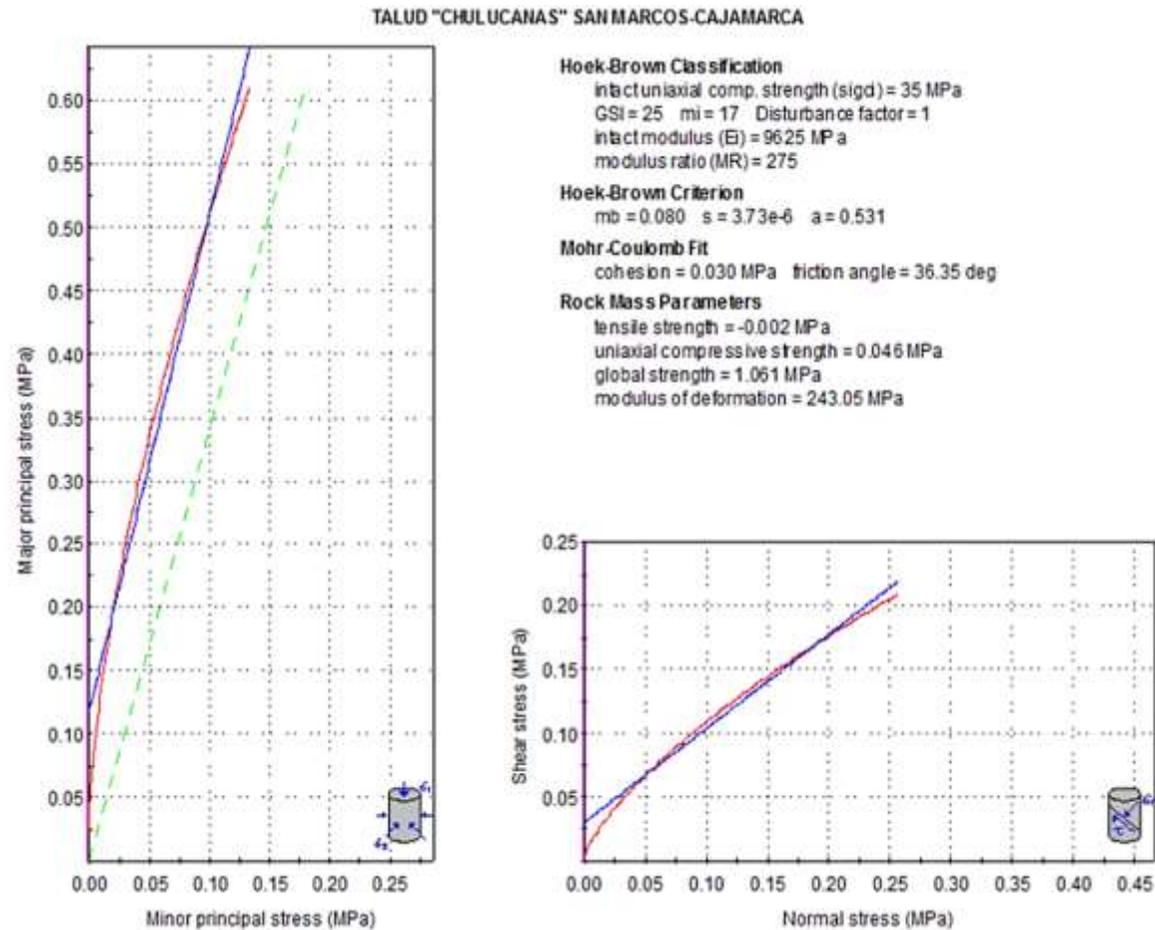
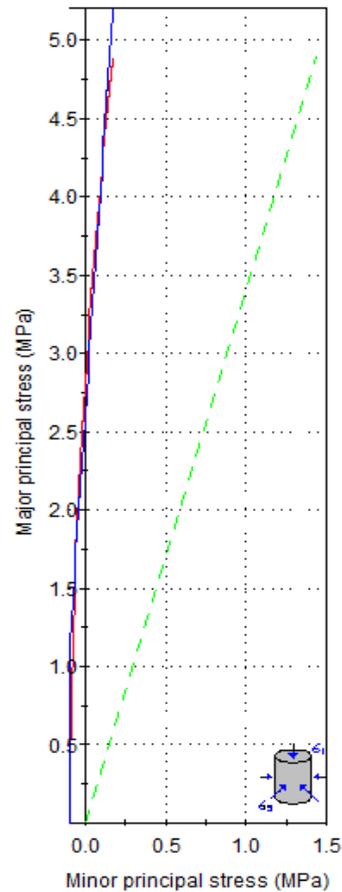


Figura 42. Observamos que los valores obtenidos para la estación 2 son:  $m_b = 0.080$ ;  $s = 3.73e^{-6}$ ;  $a = 0.531$ ; Cohesión = 0.030 MPa; y Ángulo de fricción = 36.35°. Fuente: RocData v5.0.

**TALUD "CHULUCANAS" SAN MARCOS-CAJAMARCA**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 175 MPa  
 GSI = 51  $m_i$  = 17 Disturbance factor = 1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 48 125 MPa  
 modulus ratio (MR) = 275

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b$  = 0.513  $s$  = 0.0003  $a$  = 0.505

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.335 MPa friction angle = 61.21 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.097 MPa  
 uniaxial compressive strength = 2.823 MPa  
 global strength = 16.394 MPa  
 modulus of deformation = 3402.32 MPa

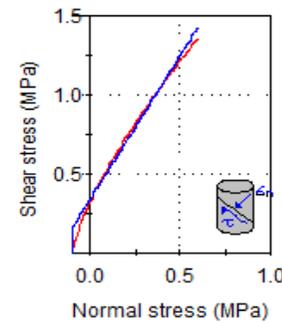
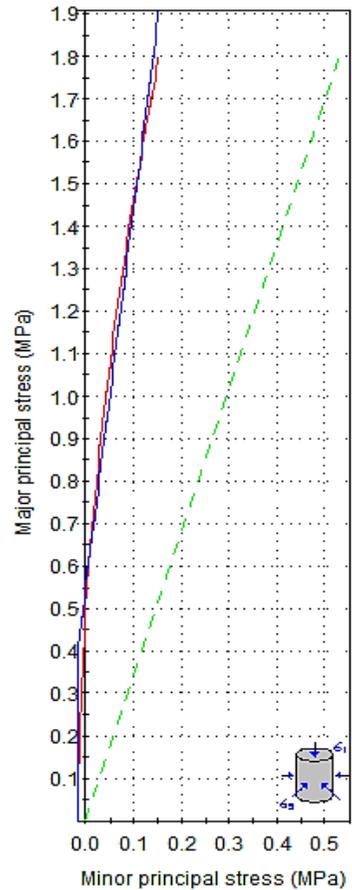


Figura 43. Observamos que los valores obtenidos para la estación 3 son:  $m_b = 0.513$ ;  $s = 0.0003$ ;  $a = 0.505$ ; Cohesión = 0.335 MPa; y Ángulo de fricción = 61.21°. Fuente: RocData v5.0.

**TALUD "CHULUCANAS" SAN MARCOS-CAJAMARCA**



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 75 MPa  
 GSI = 41  $m_i$  = 17 Disturbance factor = 1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 20625 MPa  
 modulus ratio (MR) = 275  
  
**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.251  $s$  = 0.0001  $a$  = 0.511  
  
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.092 MPa friction angle = 52.91 deg  
  
**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.016 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.495 MPa  
 global strength = 4.726 MPa  
 modulus of deformation = 860.93 MPa

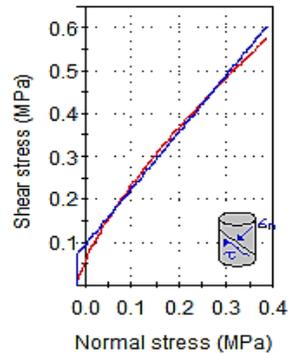


Figura 44. Observamos que los valores obtenidos para la estación 4 son:  $m_b = 0.251$ ;  $s = 0.0001$ ;  $a = 0.511$ ; Cohesión = 0.092 MPa; y Ángulo de fricción = 52.91°. Fuente: RocData v5.0.

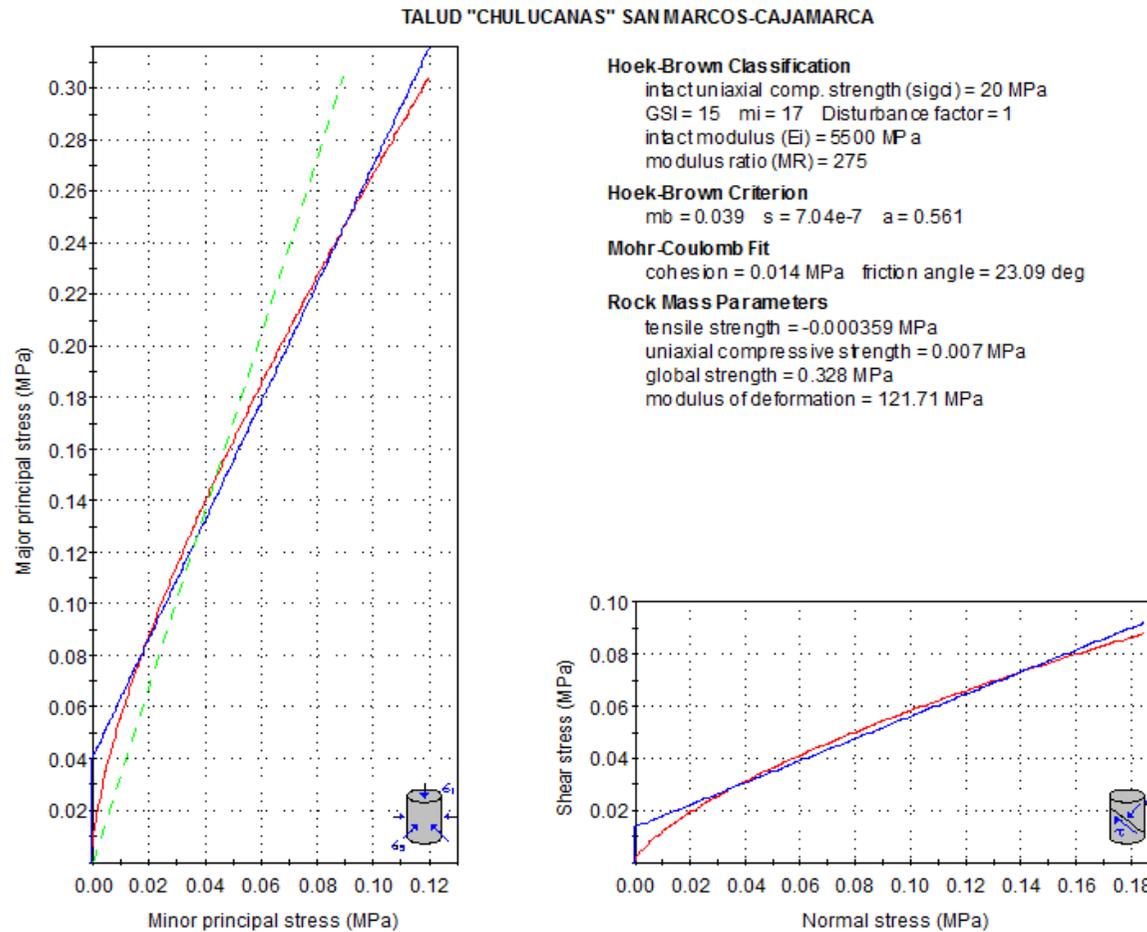


Figura 45. Observamos que los valores obtenidos para la estación 5 son:  $mb = 0.039$ ;  $s = 7.04e^{-7}$ ;  $a = 0.561$ ; Cohesión = 0.014 MPa; y Ángulo de fricción = 23.09°, Fuente: RocData v5.0

### 3.2.4. Tipo de rotura utilizando el software Dips

Obtenemos el siguiente análisis estereográfico:

#### 1° Falla planar:

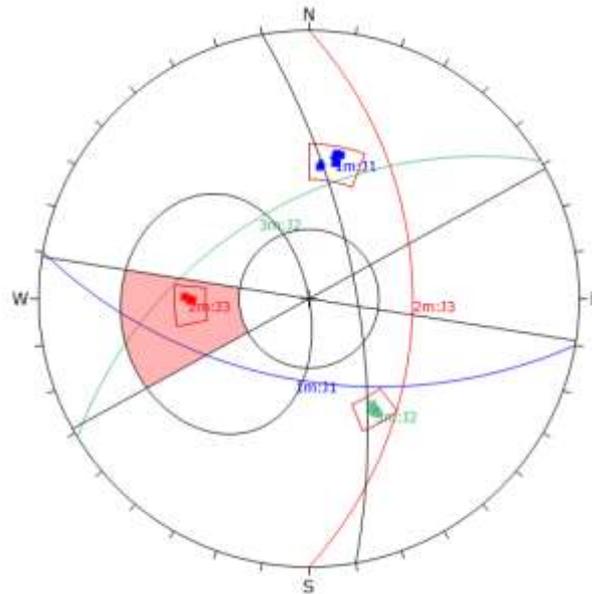


Figura 46. Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de  $\pm 20$ . Se aprecia que el sistema de discontinuidades J3 reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir una rotura planar. Fuente: Dips.

<b>Kinematic Analysis</b>	Planar Sliding		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	80		
<b>Friction Angle</b>	29°		
<b>Lateral Limits</b>	19°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Planar Sliding (All)	39	129	30.23%
Planar Sliding (Set 2)	39	39	100.00%
	<b>Color</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>
<b>Mean Set Planes</b>			
1m	■	56	190
2m	■	48	90
3m	■	51	329

Figura 47. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 100 % para producirse la falla planar. Fuente: Dips.

## 2° Falla en cuña.

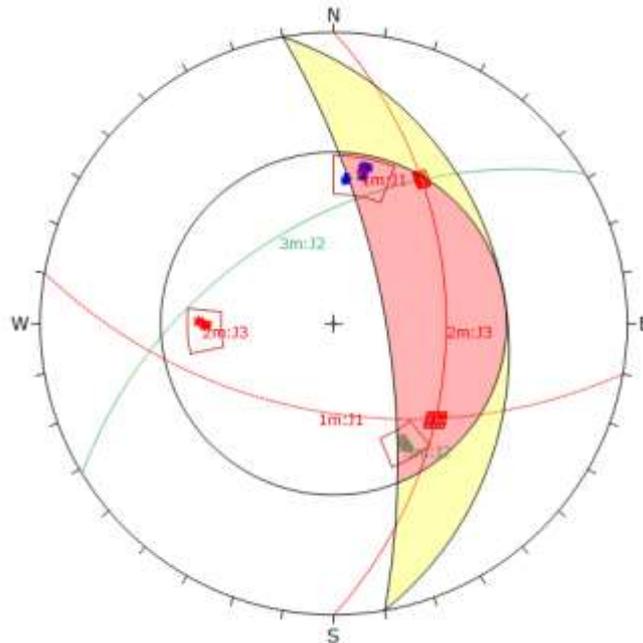


Figura 48. Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica el cono de fricción, y la envolvente del talud. Se aprecia que reúne las condiciones geométricas y de fricción para producir dos Cuñas; la primera mediante los sistemas de discontinuidades J3 y J2 y la segunda mediante los sistemas de discontinuidades J1 y J2. Fuente: Dips.

<b>Kinematic Analysis</b>	Wedge Sliding		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	80		
<b>Friction Angle</b>	29°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Wedge Sliding	3510	5510	63.70%
<b>Color</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>	<b>Label</b>
<b>Mean Set Planes</b>			
1m	56	190	J1
2m	48	90	J3
3m	51	329	J2

Figura 49. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 63.70 % para producirse fallas en cuña. Fuente: Dips.

### 3° Falla en Vuelco

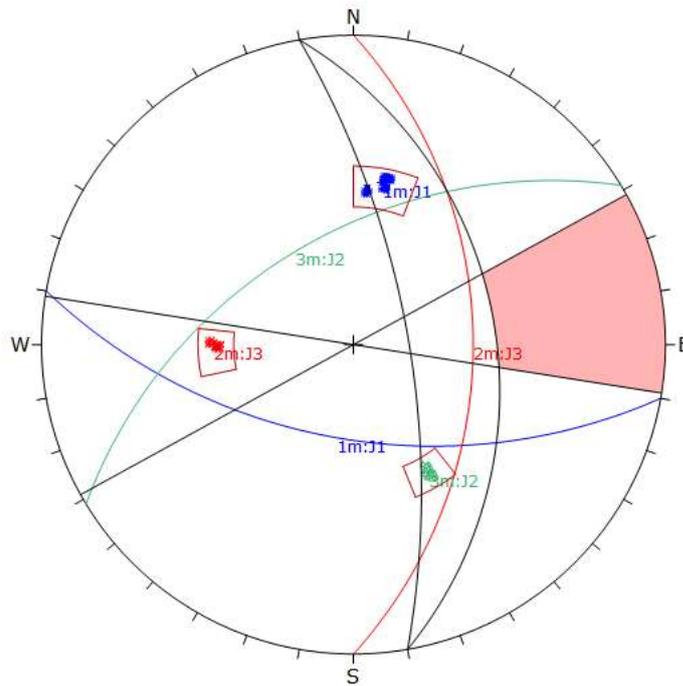


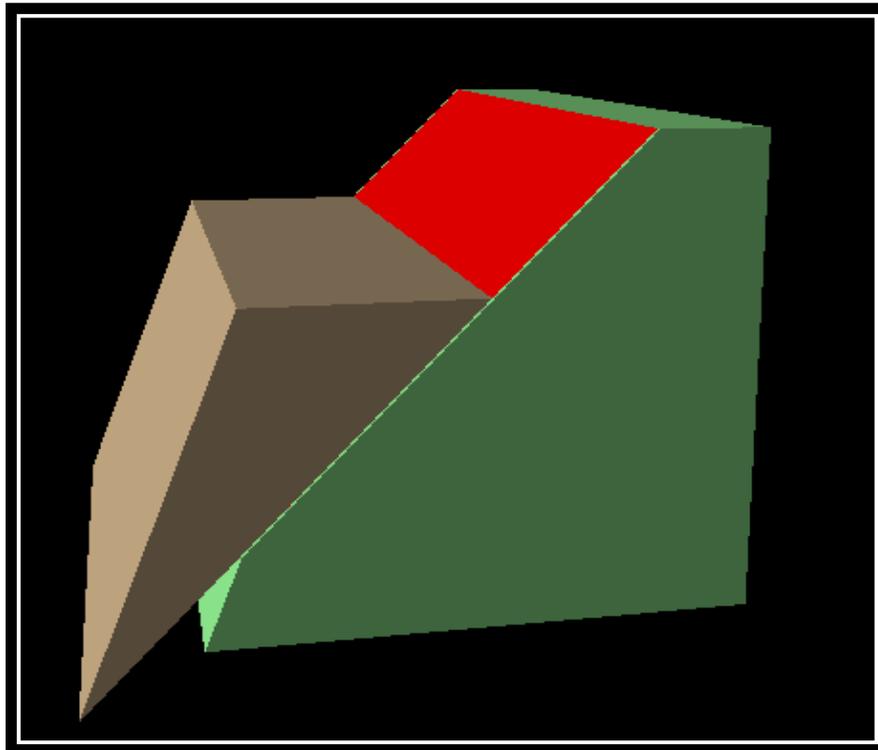
Figura 50. Análisis cinemático utilizando como criterio para definir el área crítica límites laterales de  $\pm 20^\circ$ , y un plano auxiliar relacionado al talud y al ángulo de fricción. Se puede apreciar que no se produce la rotura en vuelco por ninguno de los sistemas de discontinuidades según las características de orientación de las juntas del macizo rocoso. Fuente: Dips.

<b>Kinematic Analysis</b>	Flexural Toppling		
<b>Slope Dip</b>	70		
<b>Slope Dip Direction</b>	80		
<b>Friction Angle</b>	29°		
<b>Lateral Limits</b>	19°		
	<b>Critical</b>	<b>Total</b>	<b>%</b>
Flexural Toppling (All)	0	129	0.00%
<b>Color</b>	<b>Dip</b>	<b>Dip Direction</b>	<b>Label</b>
<b>Mean Set Planes</b>			
1m	56	190	J1
2m	48	90	J3
3m	51	329	J2
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors		
<b>Vector Count</b>	129 (129 Entries)		
<b>Hemisphere</b>	Lower		
<b>Projection</b>	Equal Angle		

Figura 51. Valores de ángulo de fricción, orientación del talud, dirección y buzamiento de los planos promedios de las familias de discontinuidades. Con probabilidad de condiciones geométricas y de fricción del 0 % para producir una falla por vuelco. Fuente: Dips.

### **Rotura Planar.**

Para la rotura planar producida por el sistema de discontinuidades de la familia J03 se evaluará el factor de seguridad en condiciones secas y saturadas para las condiciones estáticas-Pseudoestáticas, además de realizar un análisis de sensibilidad para las correspondientes recomendaciones.

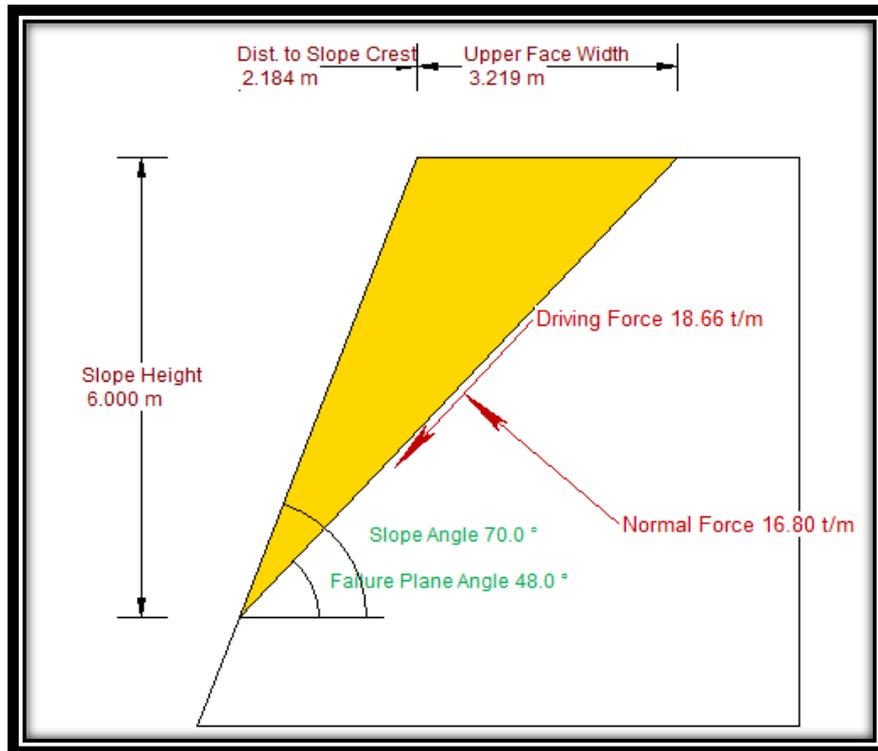


*Figura 52.* Vista en Perspectiva del posible deslizamiento del Bloque de roca formado por la discontinuidad crítica de la Familia J03. Fuente: Swedge.

### 3.3. Análisis de Estabilidad (FS)

#### 3.3.1. Utilizando Software Swedge

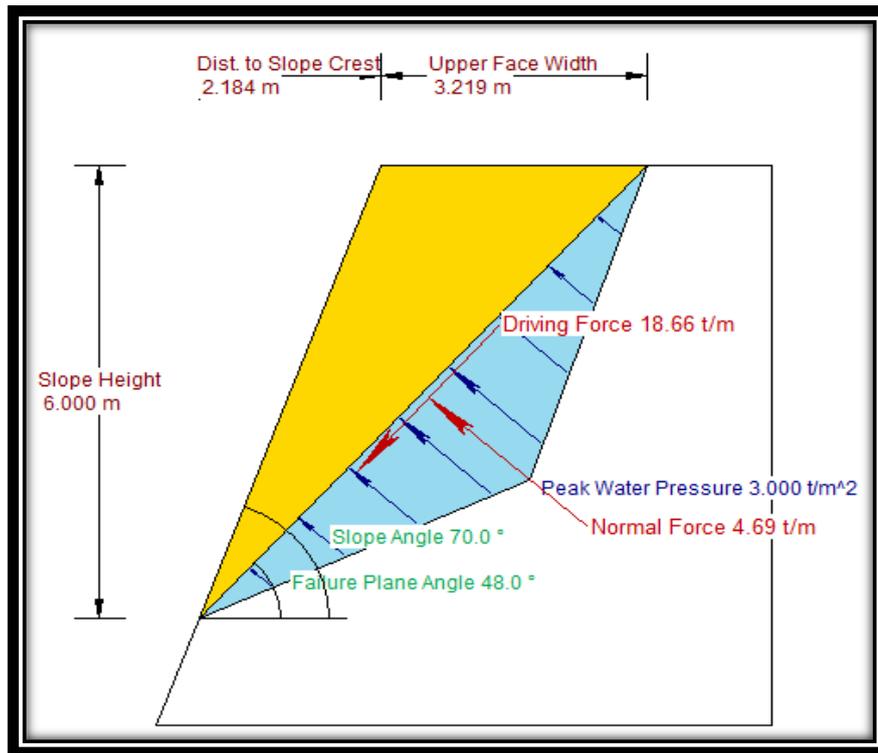
##### Condiciones Estáticas y Secas.



Factor of Safety	1.90
Driving Force	18.66t/m
Resisting Force	35.53t/m
Wedge Weight	25.11t/m
Wedge Volume	9.66m <sup>3</sup> /m
Shear Strength	35.53t/m <sup>2</sup>
Normal Force	16.80t/m
Plane Waviness	0.0°

Figura 53. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones secas y estáticas presentando un Factor de seguridad de 1.9 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones. Fuente: Swedge.

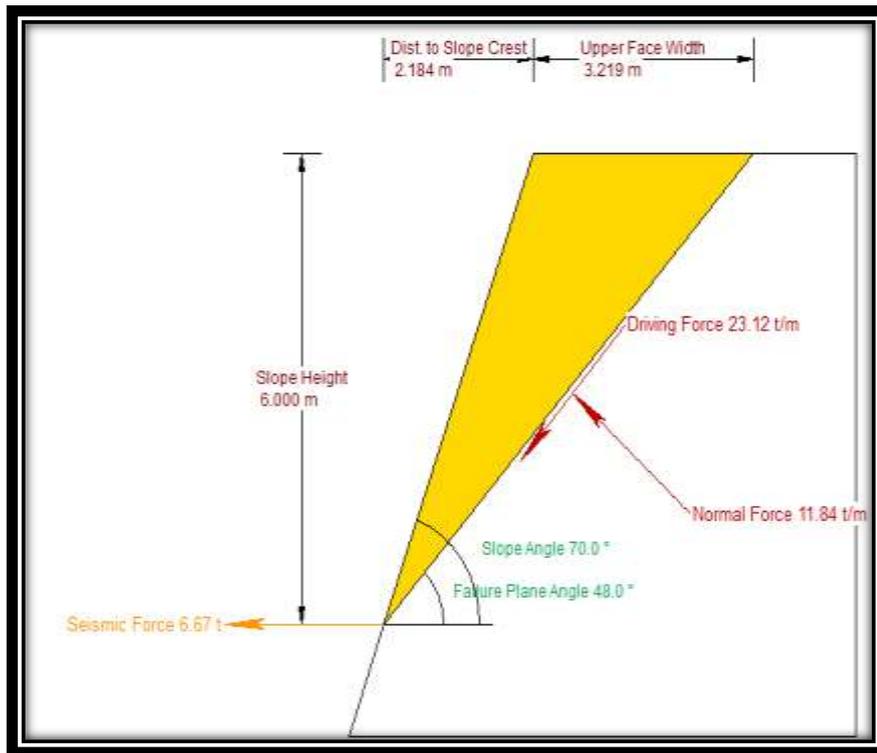
**Condiciones estáticas y saturadas.**



Factor of Safety	1.53
Driving Force	18.66t/m
Resisting Force	28.54t/m
Wedge Weight	25.11t/m
Wedge Volume	9.66m <sup>3</sup> /m
Shear Strength	28.54t/m <sup>2</sup>
Normal Force	4.69t/m
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	12.11t/m

*Figura 54.* Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 1.53 por lo cual no se produce la falla planar en estas condiciones. Fuente: Swedge.

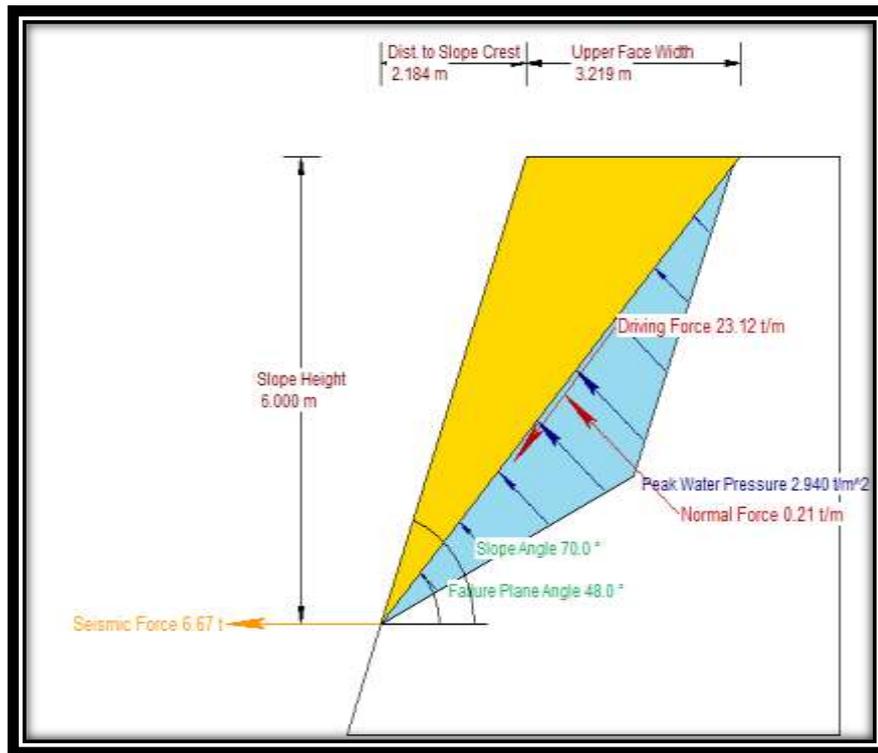
**Condiciones Pseudoestáticas y secas.**



Factor of Safety	1.41
Driving Force	23.12t/m
Resisting Force	32.67t/m
Wedge Weight	25.11t/m
Wedge Volume	9.66m <sup>3</sup> /m
Shear Strength	32.67t/m <sup>2</sup>
Normal Force	11.84t/m
Seismic Force	6.67t
Plane Waviness	0.0°

Figura 55. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 1.41 por lo cual no se produce la falla planar. Fuente: Swedge.

**Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas.**



Factor of Safety	1.12
Driving Force	23.12t/m
Resisting Force	25.96t/m
Wedge Weight	25.11t/m
Wedge Volume	9.66m <sup>3</sup> /m
Shear Strength	25.96t/m <sup>2</sup>
Normal Force	0.21t/m
Seismic Force	6.67t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	11.63t/m

Figura 56. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr coulomb, en la que se aprecia que el talud es inestable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 1.12 por lo cual se produce la falla planar en estas condiciones. Fuente: Swedge.

**Análisis de Sensibilidad.**

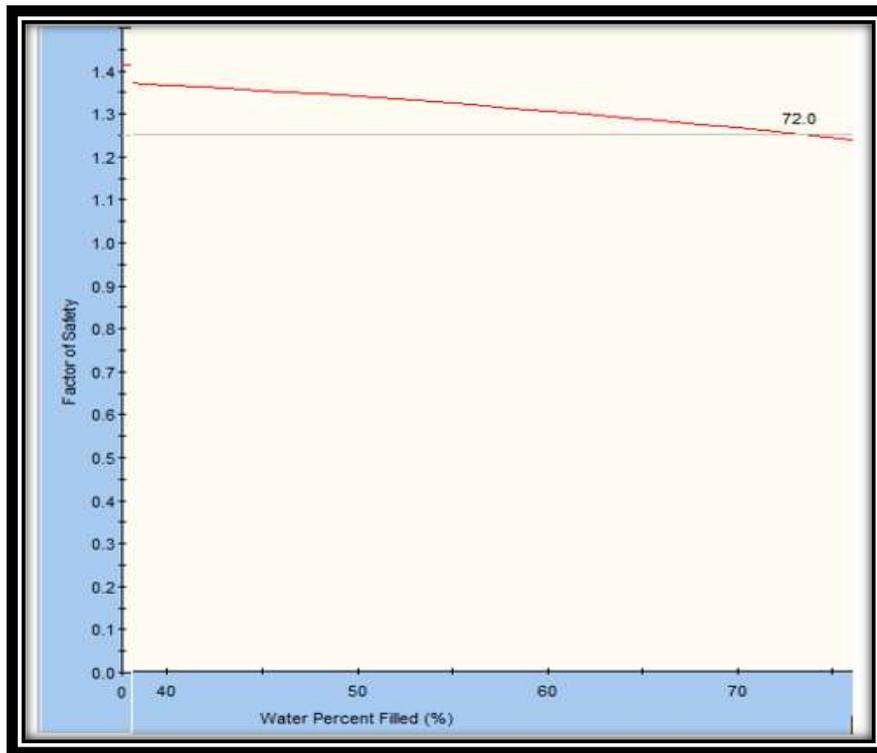


Figura 57. Análisis de Sensibilidad que muestra que para que el talud sea estable el Porcentaje de saturación de agua no debe exceder el 70% en condiciones pseudo- estáticas. Fuente: Swedge.

A continuación se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura planar del Set J03:

**Tabla 34**

*Condiciones de Análisis de la rotura planar del Set J03 (Estático y Pseudo-estático).*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudo-estático</b>	
<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>	<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>
1.9	1.53	1.41	1.12

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones. Fuente: Propia.

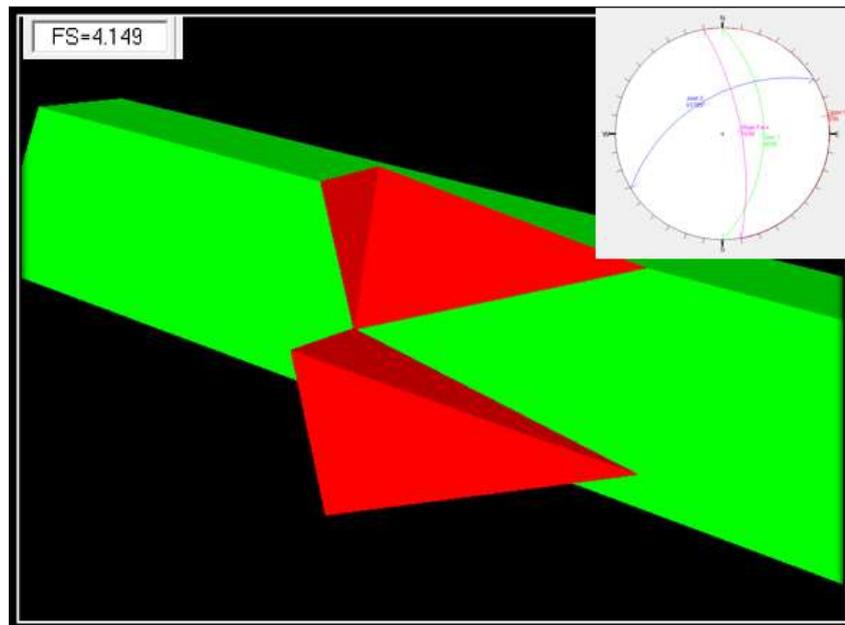
A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje a fin de mantener el grado de saturación por debajo del 50% y modificar la geometría del talud con un máximo buzamiento de 65°.

### **Rotura en Cuña.**

Para la rotura en Cuña se evaluará las 02 Cuñas evidenciadas en el software Dips, la primera producida por el Sistema de discontinuidades de la Familia J02 y J03 y la segunda producida por el sistema de discontinuidades J01 y J03, calculando el factor de seguridad en condiciones secas y Saturadas para las condiciones estáticas Pseudoestáticas,

### **Cuña 01 (J2 y J3)**

#### **Condiciones Estáticas y Secas:**



*Figura 58.* Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 4.15, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

**Condiciones estáticas y saturadas:**

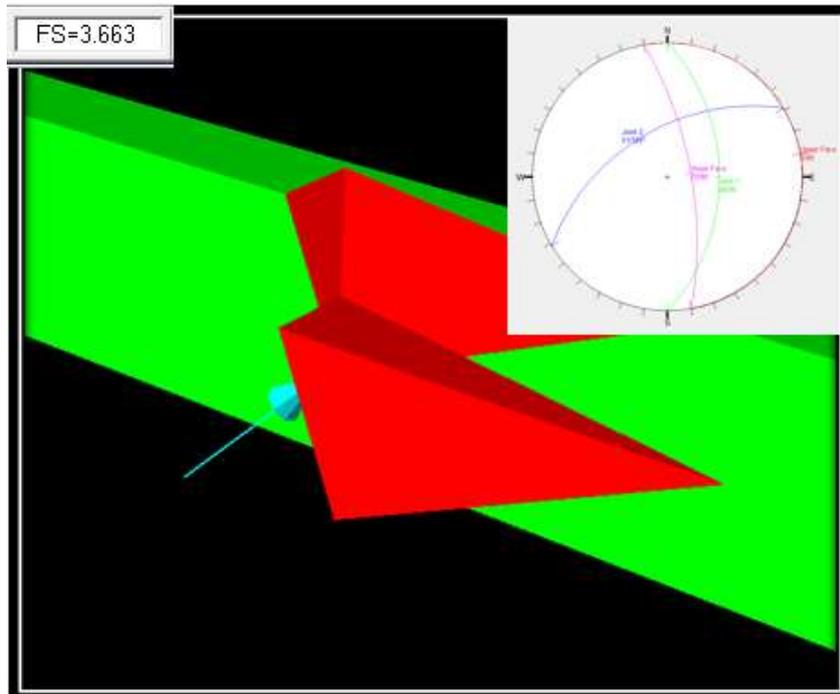


Figura 59. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 3.63 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

**Condiciones Pseudoestáticas y secas:**

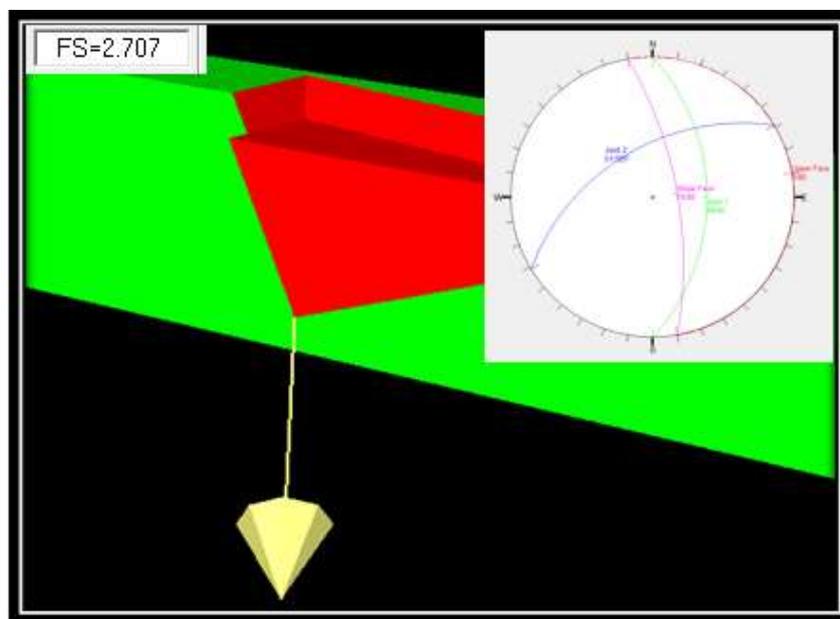


Figura 60. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 2.71 por lo cual no se produce la falla en cuña. Fuente: Swedge.

**Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas:**

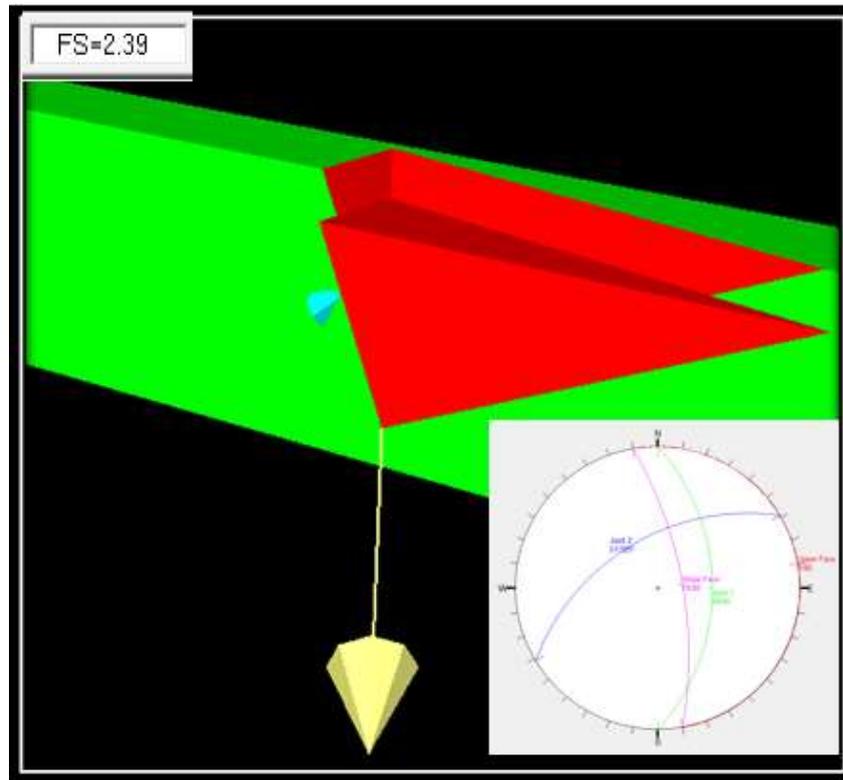


Figura 61. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 2.39 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

A continuación se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J02 y J03:

**Tabla 35**

*Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J02 y J03 (Estático y Pseudo-estático).*

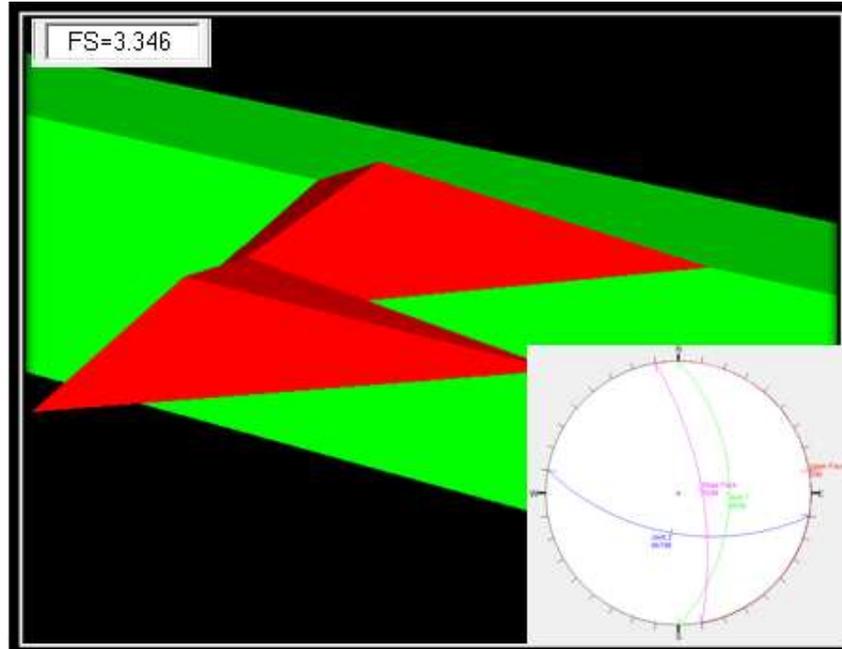
Condiciones de Análisis			
Estático		Pseudo-estático	
Secas	Saturadas	Secas	Saturadas
4.15	3.63	2.71	2.39

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones. Fuente: Propia.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña N°01 las recomendaciones para asegurar la estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

### **Cuña 02 (J1 y J3)**

#### **Condiciones Estáticas y Secas:**



*Figura 62.* Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud estable en condiciones secas y estáticas con un Factor de seguridad de 3.35, por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

**Condiciones estáticas y saturadas:**

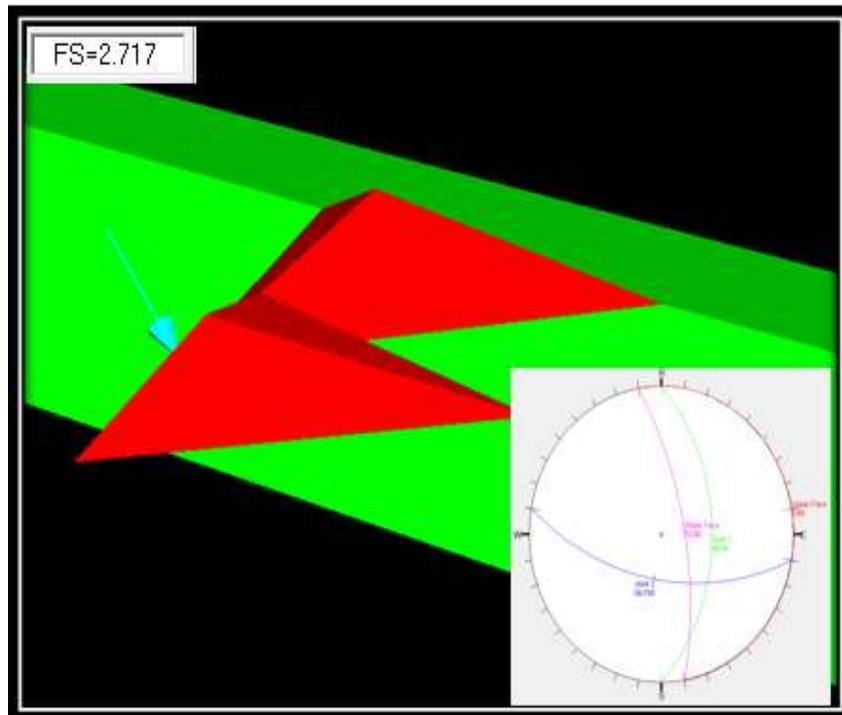


Figura 63. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y estáticas con un Factor de seguridad de 2.71 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

**Condiciones Pseudoestáticas y secas:**

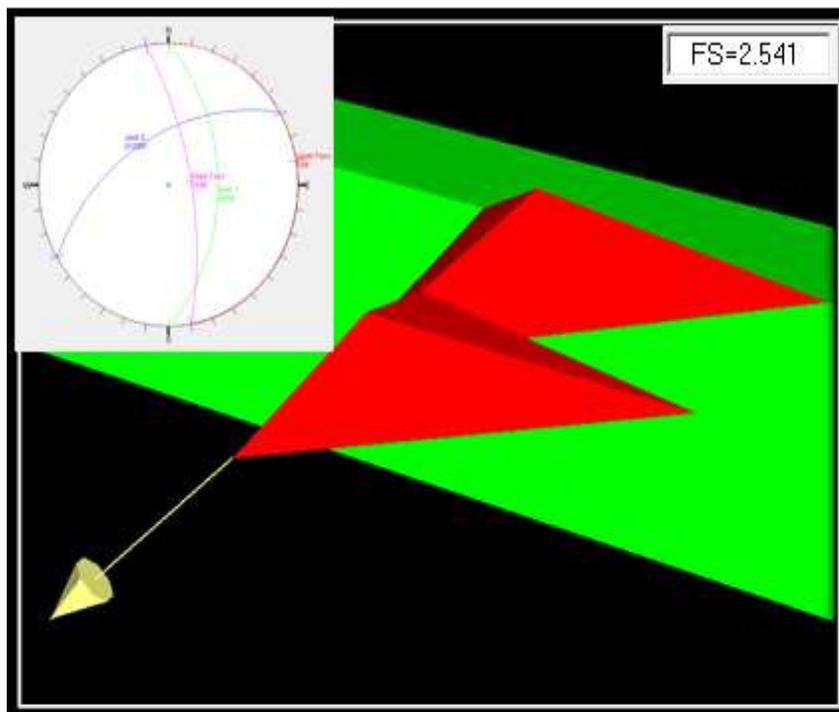


Figura 64. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 2.54 por lo cual no se produce la falla en cuña. Fuente: Swedge.

**Condiciones Pseudoestáticas y Saturadas:**

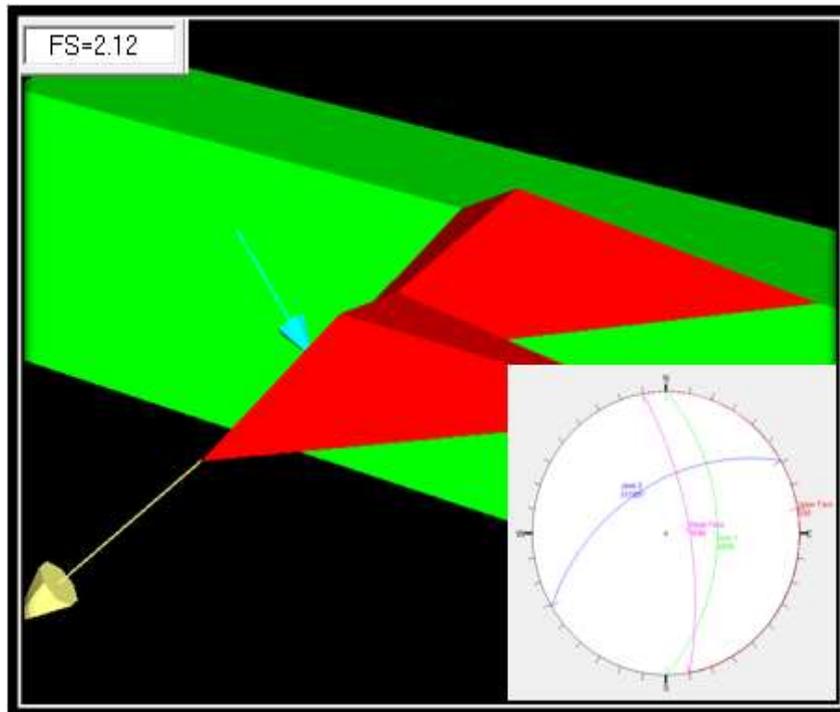


Figura 65. Análisis del Factor de Seguridad por el modelo de Mohr-Coulomb, en la que se aprecia que el talud es estable en condiciones saturadas y con un coeficiente de sismicidad de  $0.2657 \approx 0.27$  se obtiene de seguridad de 2.12 por lo cual no se produce la falla en cuña en estas condiciones. Fuente: Swedge.

A continuación se muestra un cuadro resumen del factor de seguridad para las distintas condiciones para rotura en cuña formada por los Sets de la familia J01 y J03:

**Tabla 36**

*Condiciones de Análisis de la rotura en cuña de los Sets J01 y J03 (Estático y Pseudo-estático).*

<b>Condiciones de Análisis</b>			
<b>Estático</b>		<b>Pseudo-estático</b>	
<b>Secas</b>	<b>Saturadas</b>	<b>Secas</b>	<b>saturadas</b>
3.35	2.72	2.54	2.12

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones. Fuente: Propia.

Debido a que no se produce la rotura de la cuña N°02 las recomendaciones para asegurar a estabilidad son las mismas que se realizaron para la rotura planar.

### 3.3.2. Modificación de la geometría del talud utilizando Software Swedge

A fin de evitar la saturación de las discontinuidades del macizo rocoso y el fallamiento por rotura planar se recomienda realizar obras de drenaje principalmente cunetas o zanjas de coronación, con el objetivo de mantener el grado de saturación por debajo del 50% y modificar la geometría del talud con un máximo buzamiento de 65°, tal como se muestra en los siguiente gráficos.

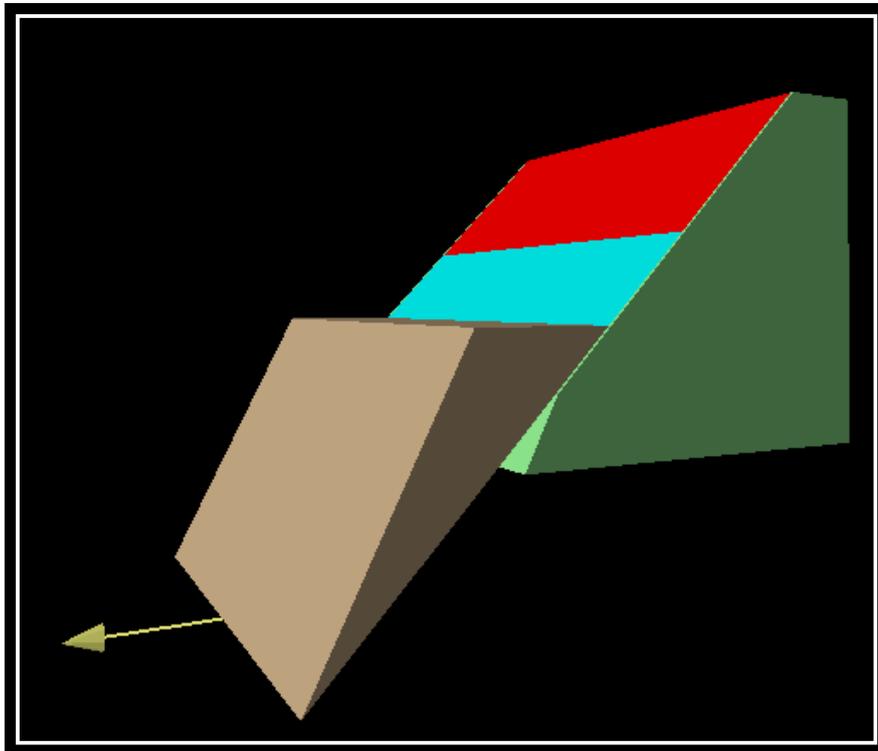
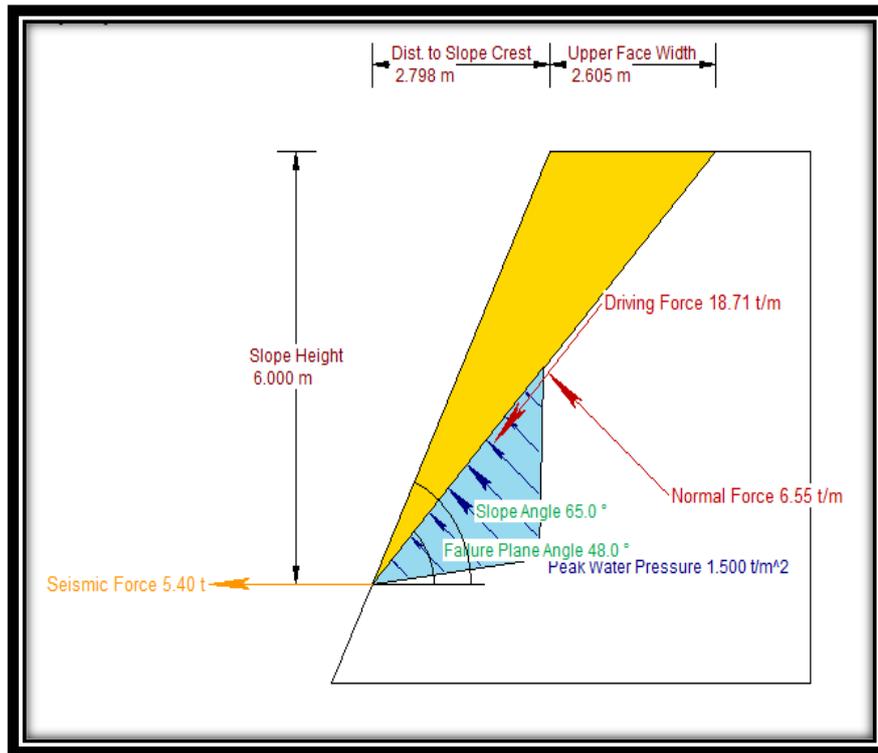


Figura 66. Vista en perfil del talud con reducción del buzamiento. Fuente: Swedge.



Factor of Safety	1.58
Driving Force	18.71t/m
Resisting Force	29.62t/m
Wedge Weight	20.32t/m
Wedge Volume	7.81m <sup>3</sup> /m
Shear Strength	29.62t/m <sup>2</sup>
Normal Force	6.55t/m
Seismic Force	5.40t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	3.03t/m

Figura 67. Vista del talud corregido el ángulo de Buzamiento a 60°, a diferencia del modelo anterior que era de 70° en el cual se evidencia un Factor de Seguridad de 1.58 el cual se encuentra por encima del recomendado para proyectos civiles. Fuente: Swedge.

### 3.3.3. Utilizando Software Slide

#### Condiciones Estáticas por Morgenstern - Price

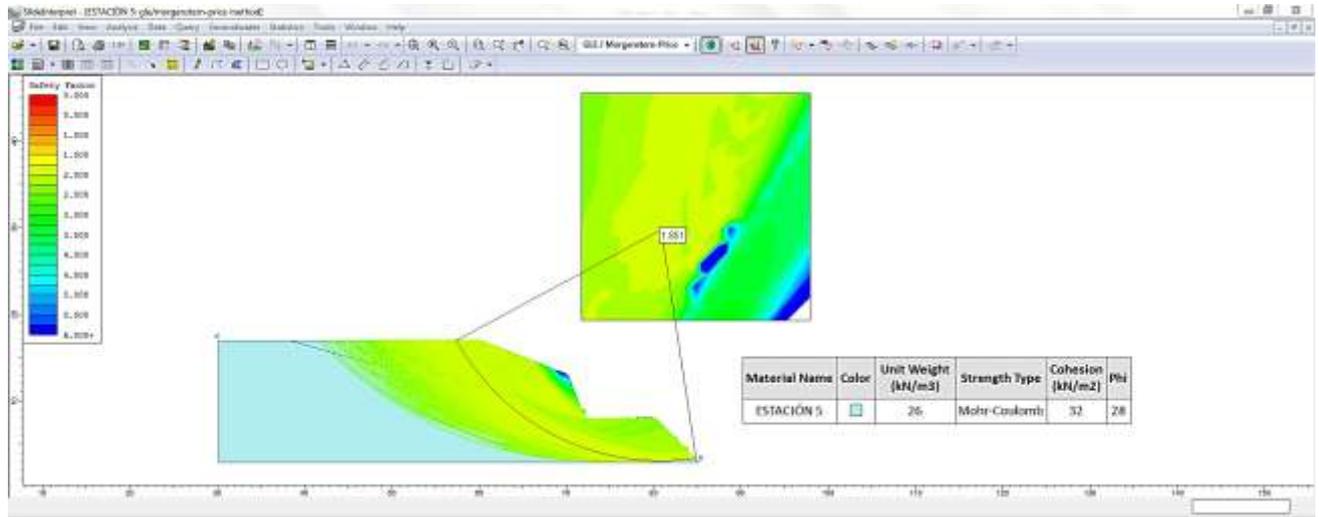


Figura 68. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas, a través del software Slide, utilizando el método de Morgenstern - Price, obteniendo un factor de seguridad de 1.85. Fuente: Slide.

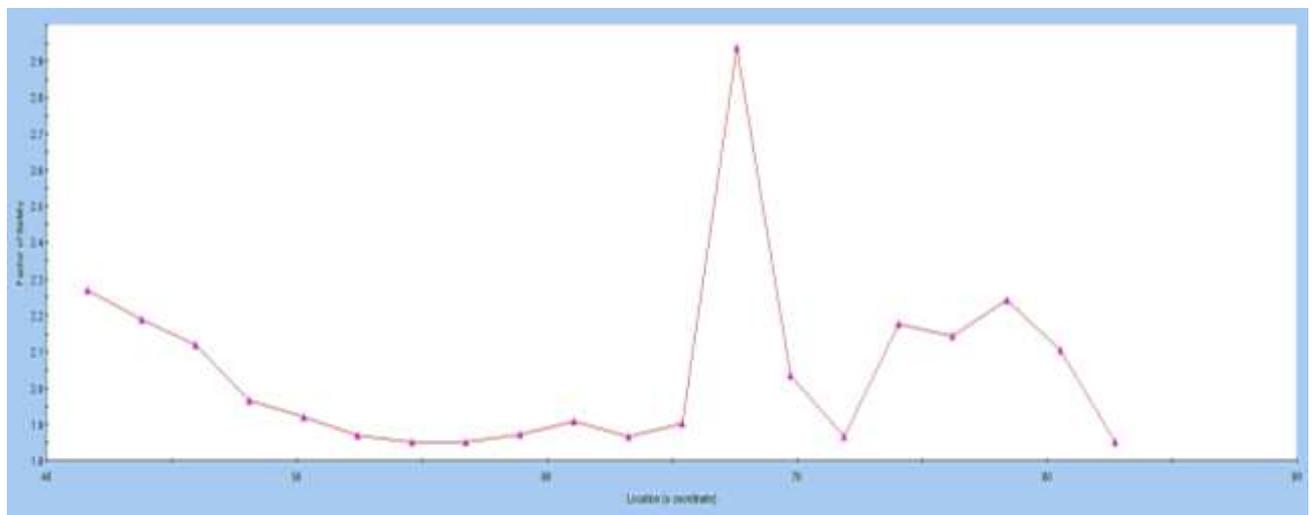


Figura 69. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas, utilizando el método de Morgenstern - Price. Fuente: Slide.

### Condiciones Estáticas por Spencer

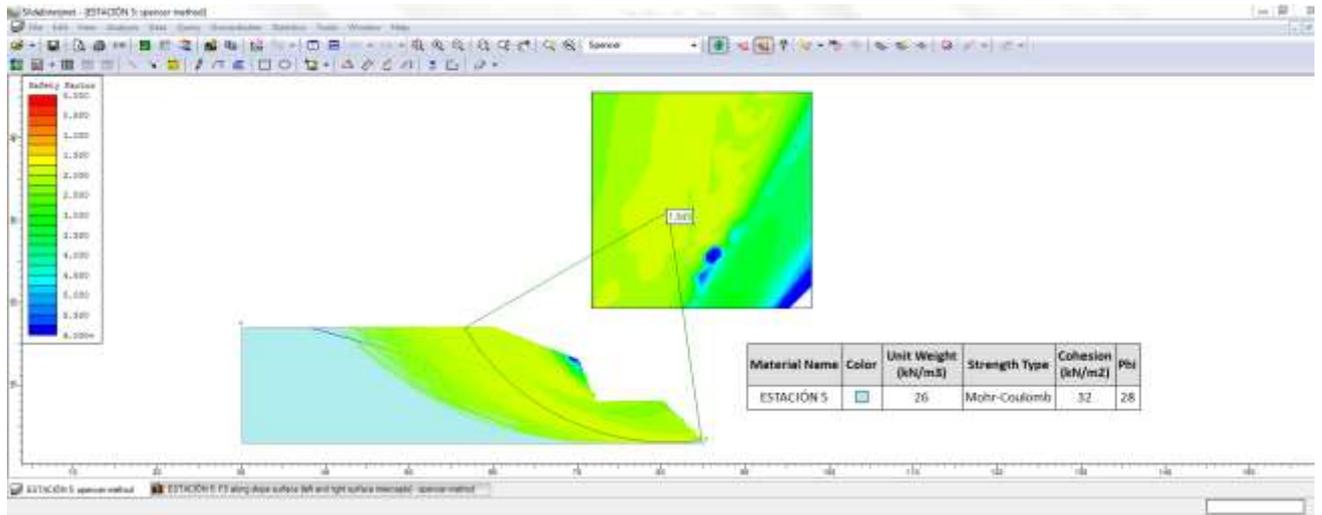


Figura 70. Análisis de estabilidad del talud Chulucana en condiciones estáticas a través del software Slide, utilizando el método de Spencer, obteniendo un factor de seguridad de 1.85. Fuente: Slide.

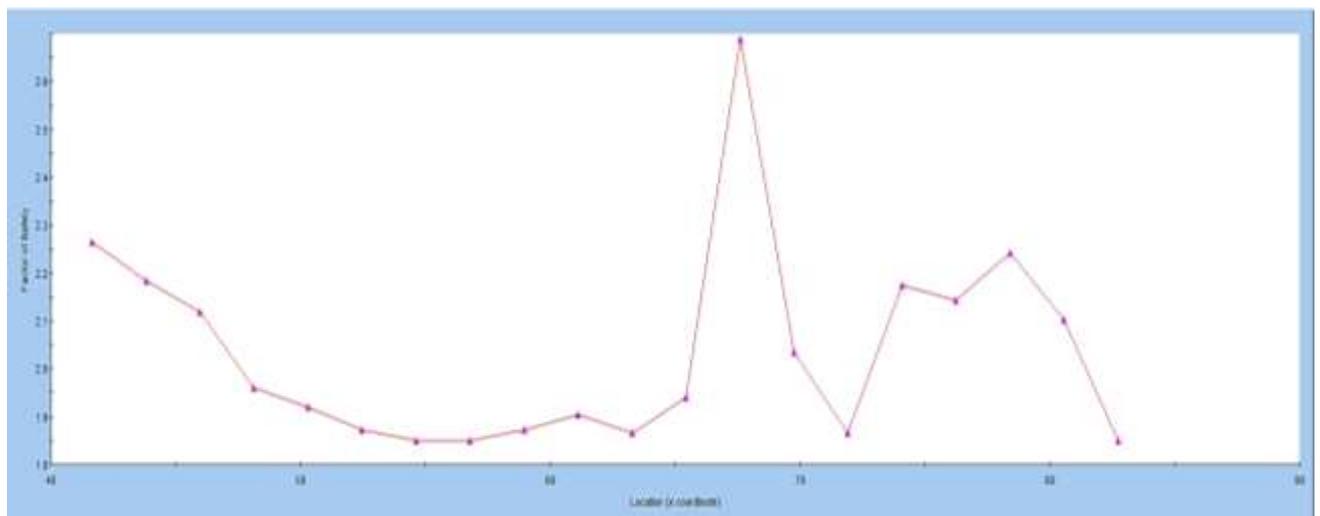


Figura 71. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones estáticas, utilizando el método de Spencer. Fuente: Slide.

Condiciones Pseudoestáticas por Morgenstern - Price

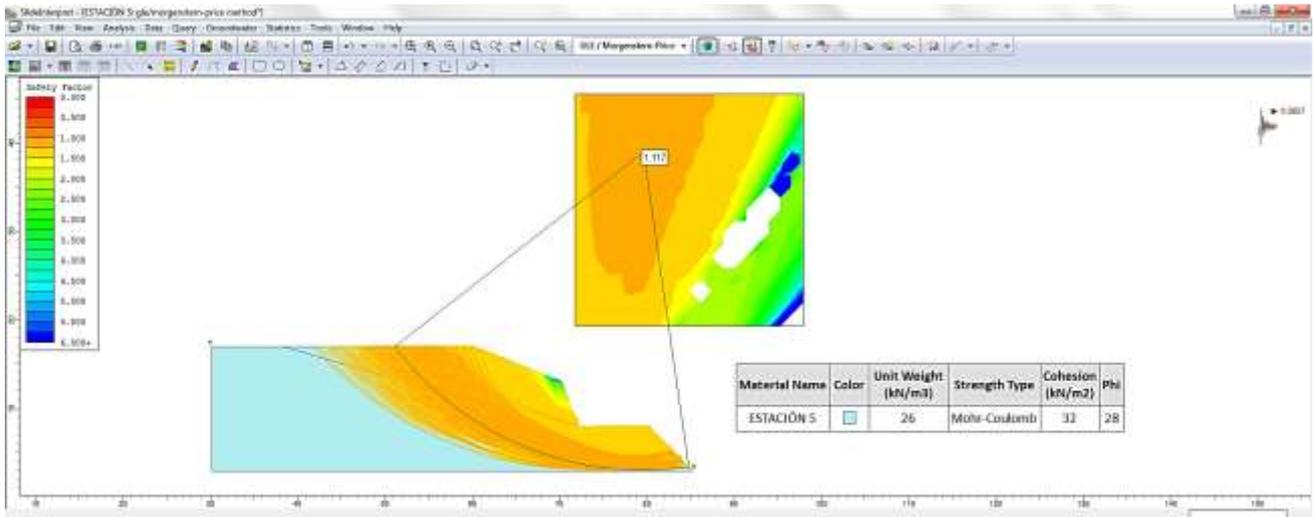


Figura 72. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas a través del software Slide, utilizando el método de Morgenstern - Price, obteniendo un factor de seguridad de 1.12. Fuente: Slide.

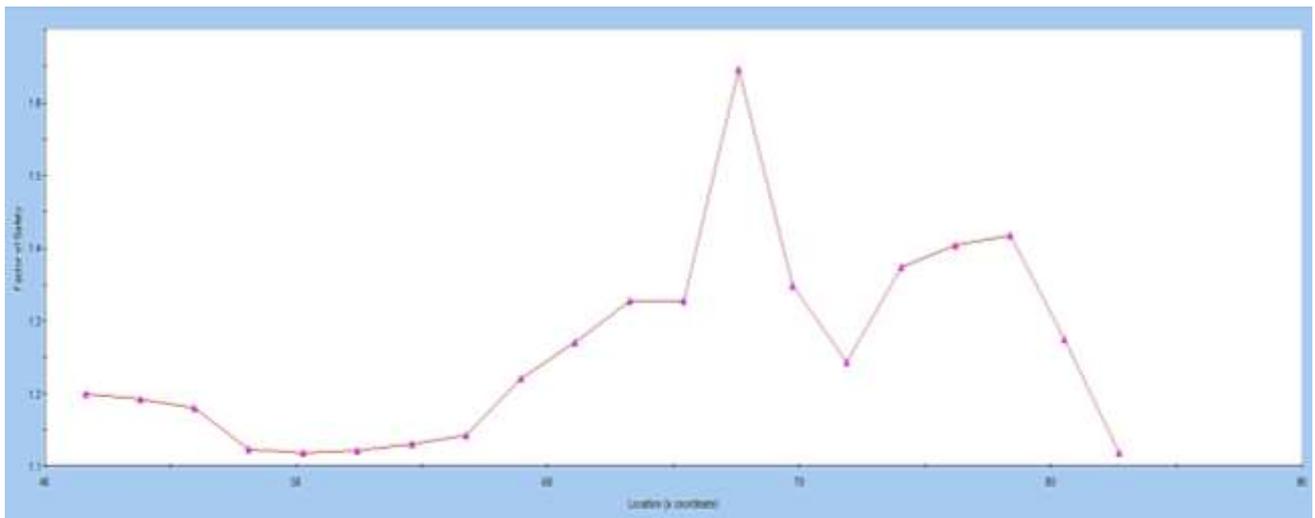


Figura 73. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas, utilizando el método de Morgenstern - Price. Fuente: Slide.

### Condiciones Pseudoestáticas por Spencer

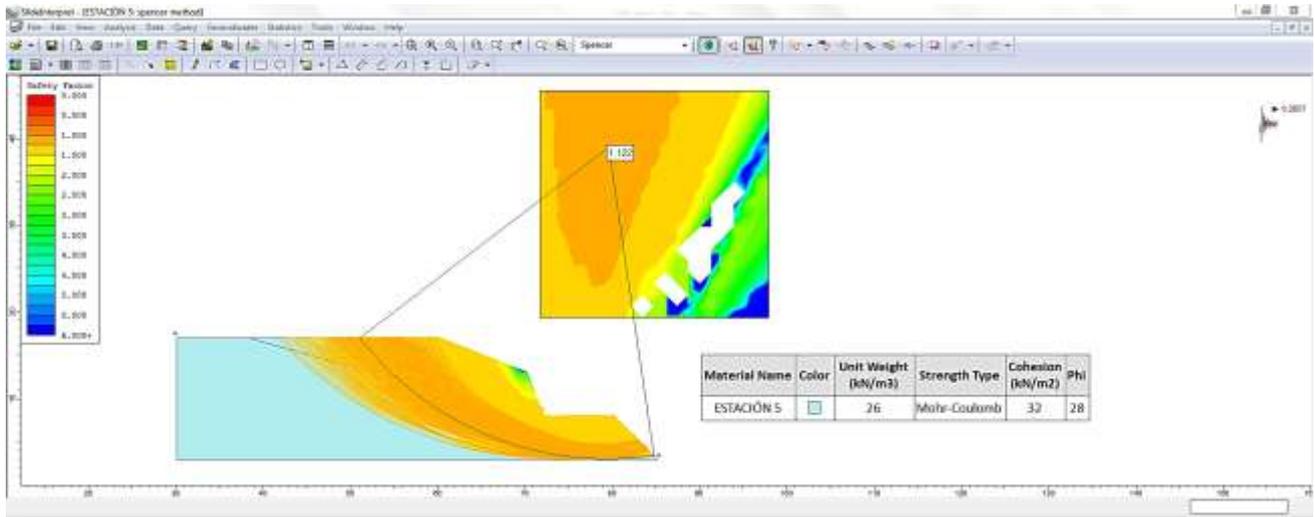


Figura 74. Análisis de estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas a través del software Slide, utilizando el método de Spencer, obteniendo un factor de seguridad de 1.12. Fuente Slide.

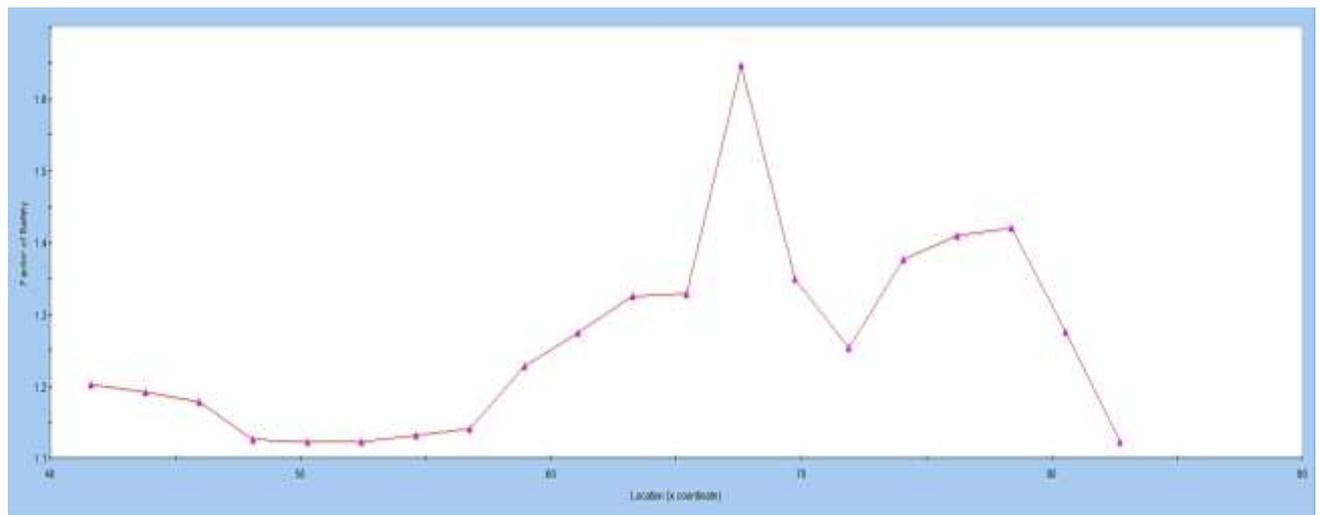


Figura 75. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” en condiciones pseudoestáticas, utilizando el método de Spencer. Fuente: Slide.

**Tabla 37**

Análisis del factor de seguridad con Slide v6.0 según Morgenstern- Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático).

Factor de seguridad			
Estático		Pseudo-estático	
Morgenstern- Price	Spencer	Morgenstern- Price	Spencer
1.85	1.85	1.12	1.12

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones. Fuente: Propia.

### 3.3.4. Modificación de la geometría del talud utilizando Software Slide

#### Condiciones Estáticas por Morgenstern - Price

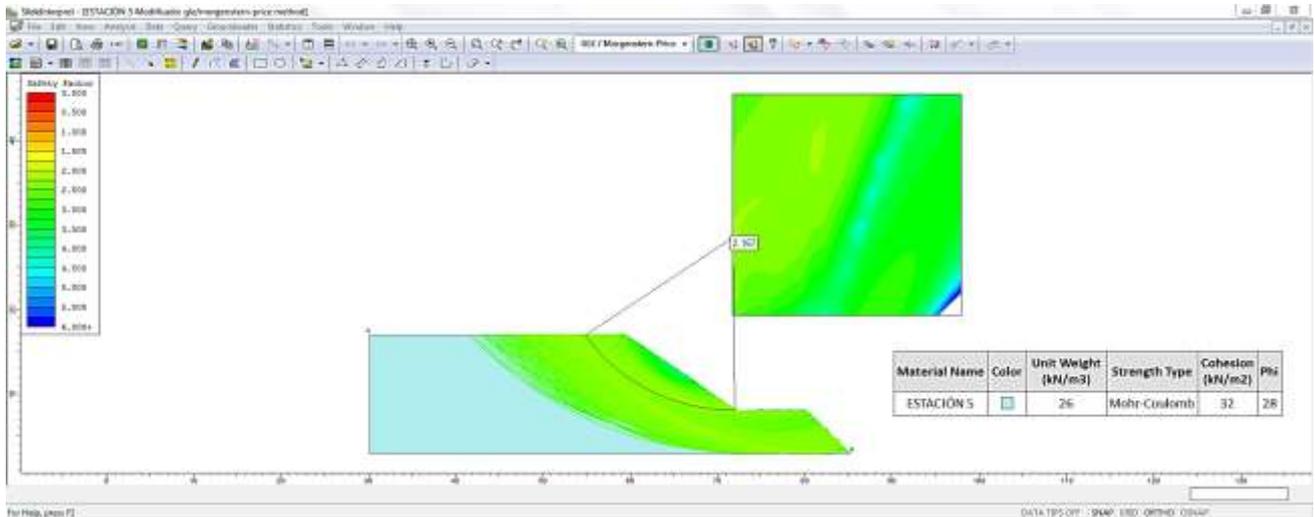


Figura 76. Evidenciamos que al analizar la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones estáticas utilizando el método de Morgenstern – Price, obtenemos un factor de seguridad de 2.17. Fuente: Slide.

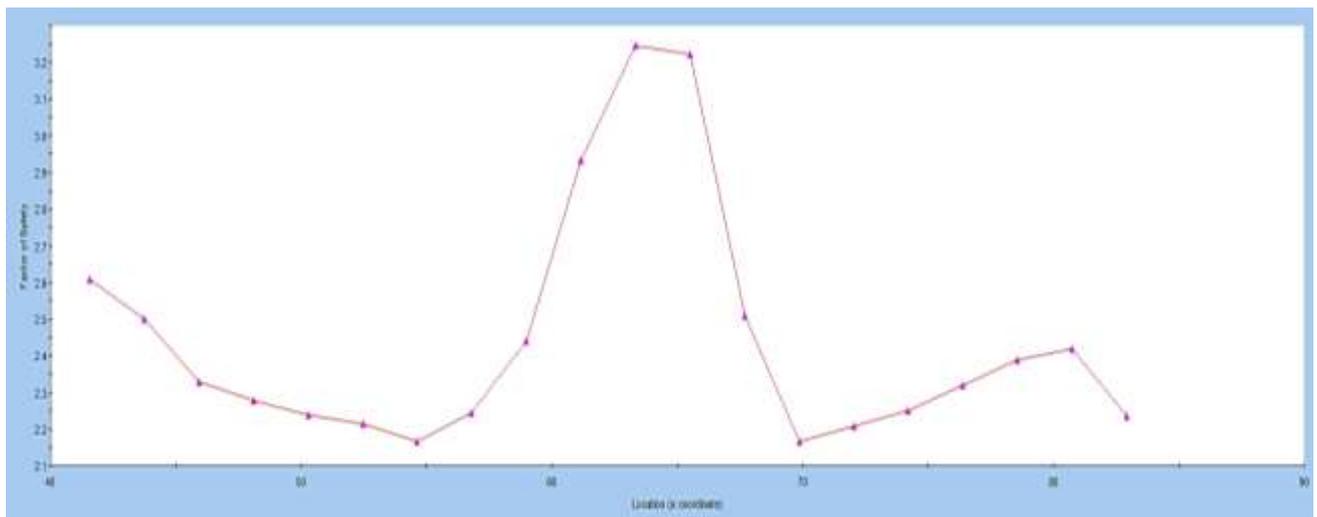


Figura 77. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones estáticas, utilizando el método de Morgenstern – Price. Fuente: Slide.

### Condiciones Estáticas por Spencer

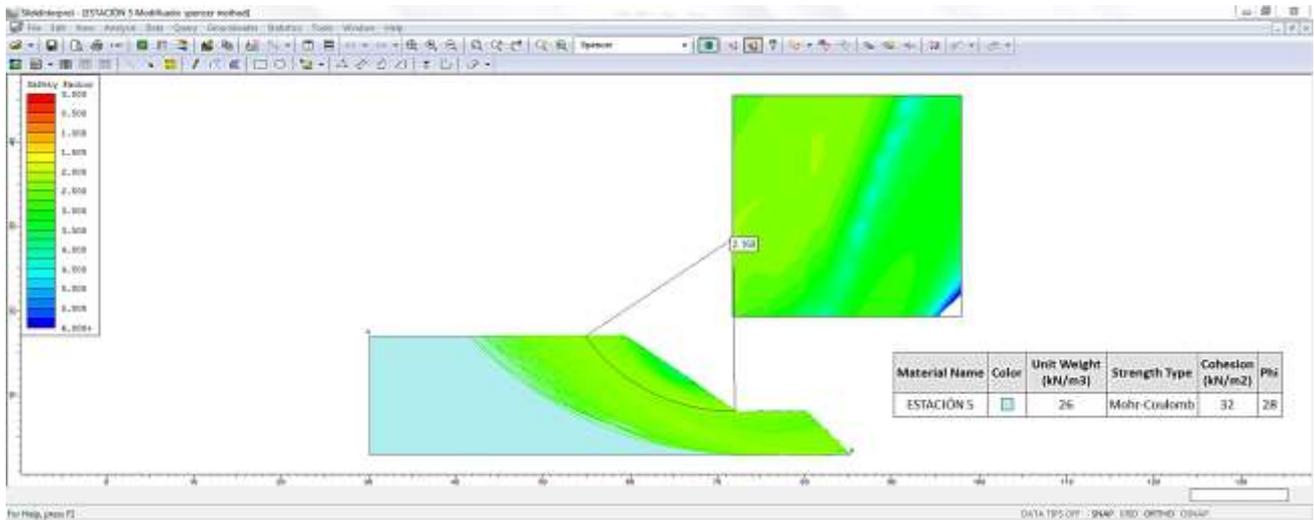


Figura 78. Evidenciamos que al analizar la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones estáticas utilizando el método de Spencer, obtenemos un factor de seguridad de 2.17. Fuente: Slide.

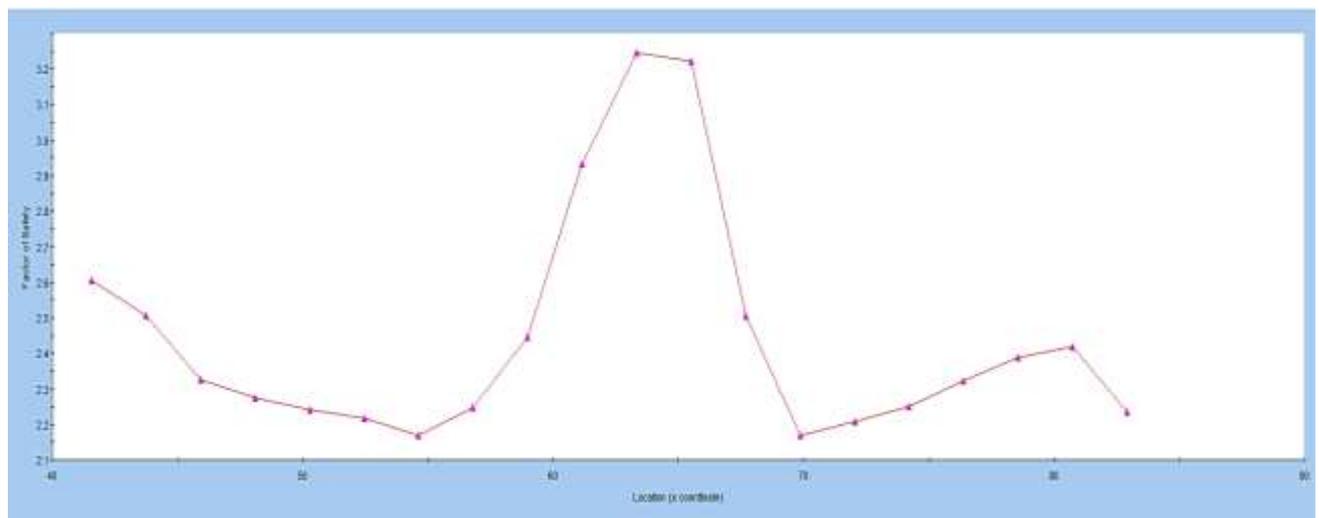


Figura 79. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones estáticas, utilizando el método de Spencer. Fuente: Slide.

**Condiciones Pseudoestáticas por Morgenstern- Price**

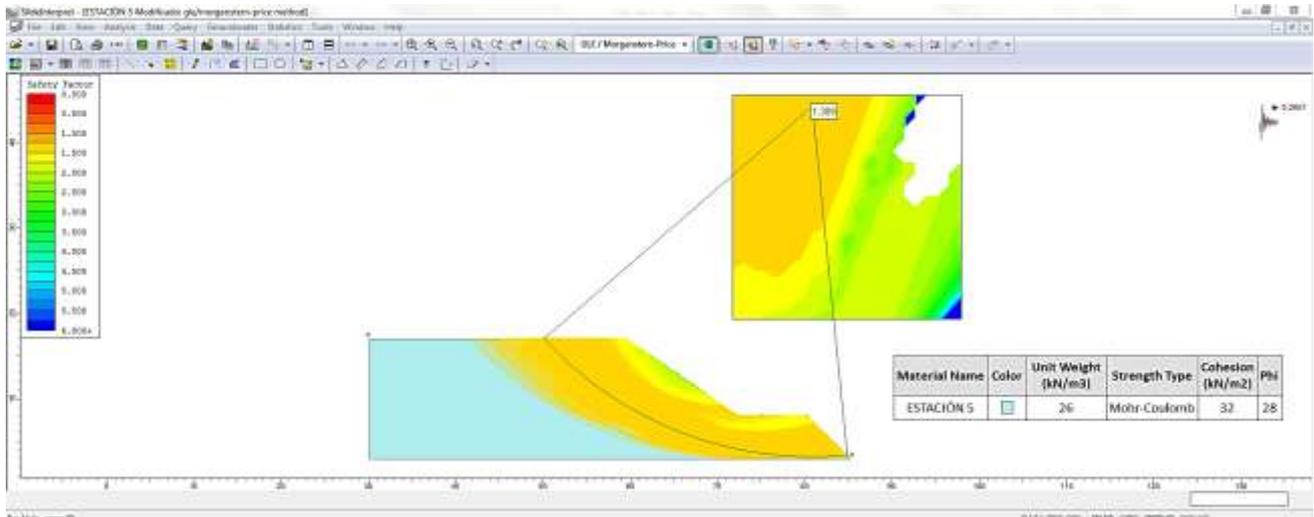


Figura 80. Evidenciamos que al analizar la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones pseudoestáticas utilizando el método de Morgenstern – Price, obtenemos un factor de seguridad de 1.31. Fuente: Slide.

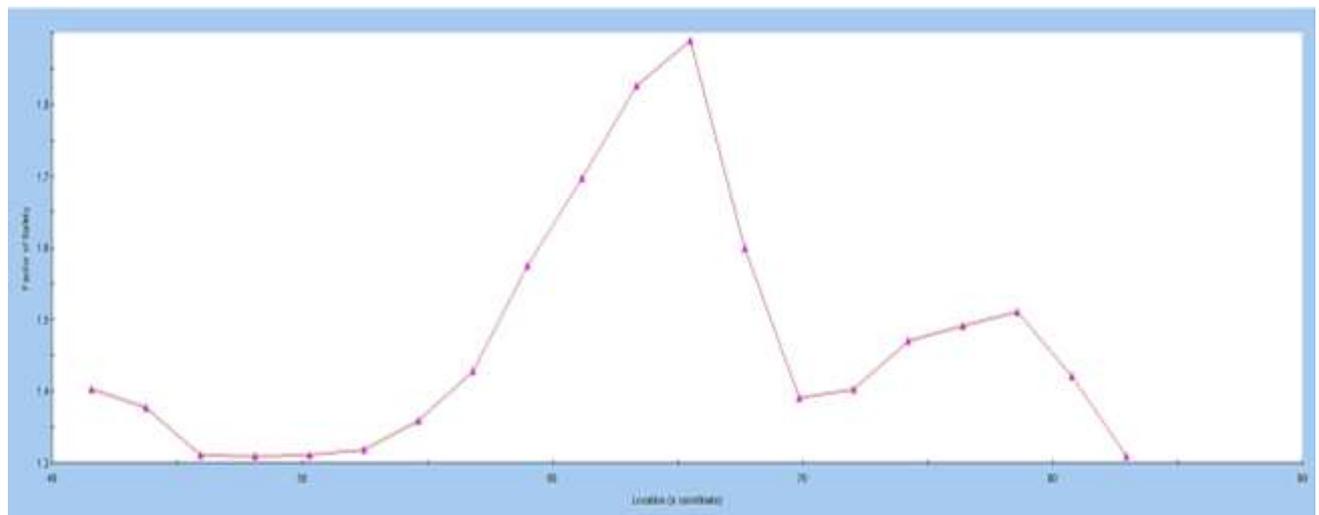


Figura 81. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones pseudoestáticas, utilizando el método de Morgenstern – Price. Fuente: Slide.

### Condiciones Pseudoestáticas por Spencer

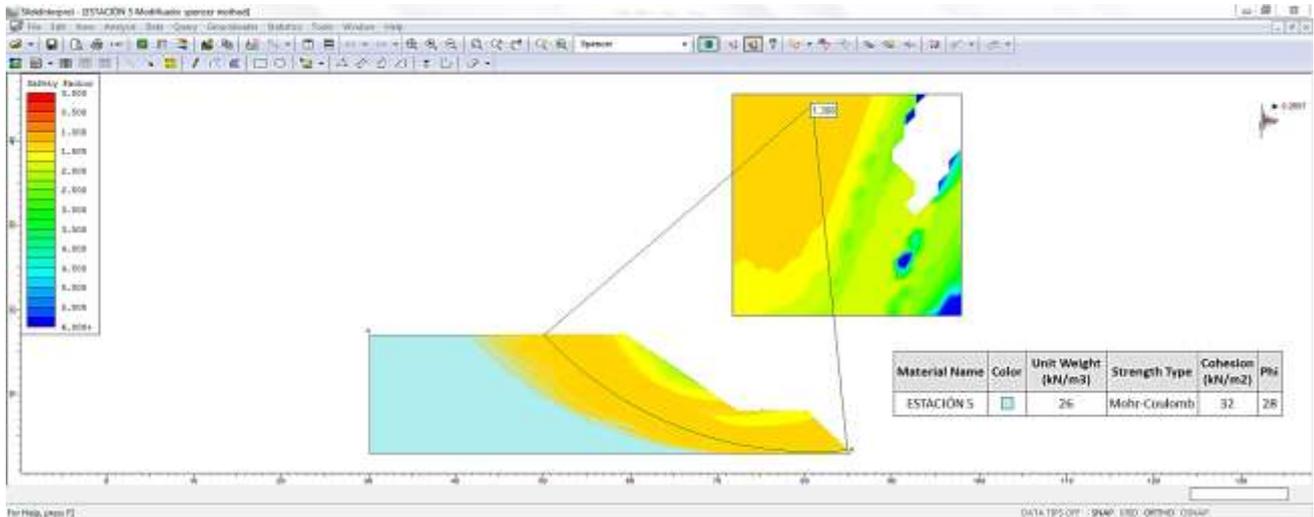


Figura 82. Evidenciamos que al analizar la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones pseudoestáticas utilizando el método de Spencer, obtenemos un factor de seguridad de 1.31. Fuente: Slide.

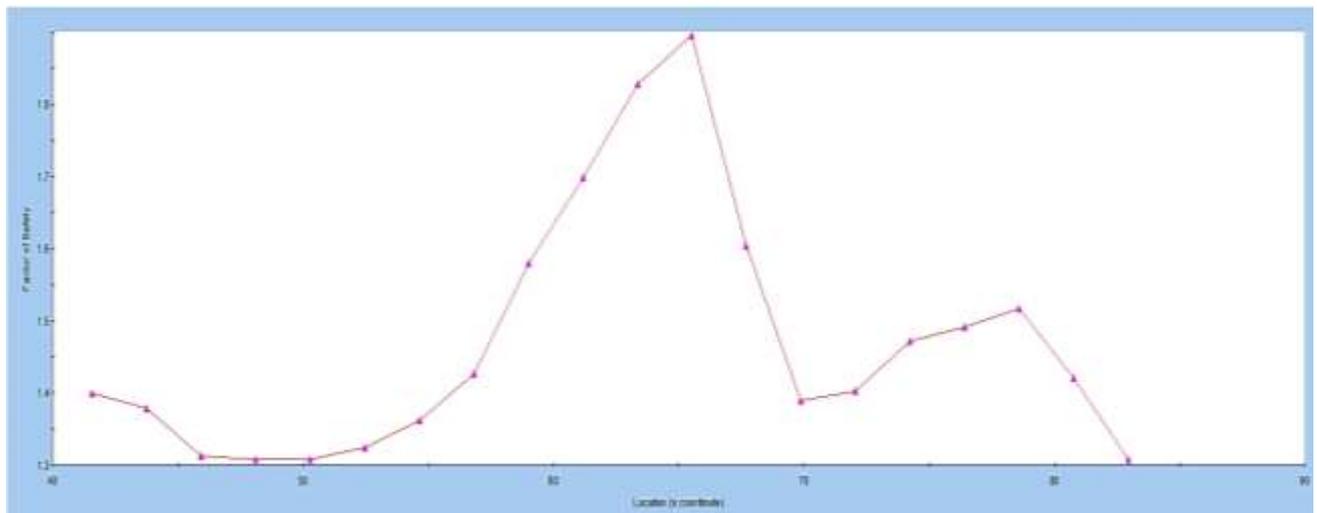


Figura 83. Gráfico de la estabilidad del talud “Chulucana” modificando su geometría en condiciones estáticas, utilizando el método de Spencer. Fuente: Slide.

Tabla 38

Análisis del factor de seguridad modificado la geometría con Slide v6.0 según Morgenstern- Price y Spencer (Estático y Pseudo-estático).

Factor de seguridad			
Estático		Pseudo-estático	
Morgenstern- Price	Spencer	Morgenstern- Price	Spencer
2.17	2.17	1.31	1.31

Nota: Análisis del Factor de Seguridad en las distintas condiciones. Fuente: Propia.

**Tabla 39**

*Comparativa del factor de seguridad de los softwares Swedge y Slide v6.0 antes de modificar y después de modificar la geometría.*

<b>Factor de seguridad con Swedge y Slide v6.0</b>			
<b>Geometría Original</b>		<b>Geometría Modificada</b>	
<b>Swedge</b>	<b>Slide v6.0</b>	<b>Swedge</b>	<b>Slide v6.0</b>
1.12	1.12	1.58	1.31

Nota: Comparación del Factor de Seguridad con ambos softwares. Fuente: Propia.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

El análisis pseudoestático indica que el talud “Chulucana” ubicado en San Marcos-Cajamarca, es sísmica inestable. Influyendo considerablemente los factores geométricos así como otros factores detonantes. Debido a que son de la formación Chimú y los cuales se ven afectados por agentes como sismicidad y la infiltración de agua producto de la precipitación. La suma de todos estos factores tiene influencia en la estabilidad. Por lo tanto las hipótesis planteadas han sido contrastadas y comprobadas por lo que se aceptan.

El talud “Chulucana” se analizó tanto en condiciones estáticas como pseudoestáticas. Para esto se tomó en cuenta la geomecánica (cohesión, ángulo de fricción, resistencia a la compresión uniaxial y otros parámetros obtenidos mediante el software RocData v5.0 que serán necesarios para el análisis).

García (2017) en su estudio de tesis “Estabilización de taludes de la carretera PE-3N, KM 263+100” determinó que los deslizamientos de taludes está estrechamente relacionado con la topografía, geología y sismicidad, concertando con nuestro resultados obtenidos.

Uno de los Softwares utilizados fue el Slide v6.0 el cual nos permitió diversos métodos para poder calcular el Factor de Seguridad, específicamente para nuestro estudio utilizamos el método de Morgenstern-Price y Spencer debido a que su nivel de confiabilidad es más alto tal como lo recomienda (Díaz & Rodríguez , 2017),

sumado a esto también se hizo uso de Swedge (Mohr-Coulomb) que de igual manera nos proporcionó un FS que guarda relación con Slide v6.0

Díaz & Rodríguez (2017) en su tesis de investigación “Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios-Cajamarca” señala que los deslizamientos tiene que ver con la naturaleza anisótropa de las unidades geológicas y también con las actividades antrópicas, principalmente en las temporadas de invierno, de igual manera sus hipótesis tienen relación con nuestra investigación por lo cual fueron corroboradas.

Esta investigación se elaboró con la intención de poder dar a conocer la importancia y efectos que tiene la actividad sísmica en la estabilidad de taludes, y poder plantear medidas de estabilización en caso de requerirlo, las implicaciones que podría a tener a futuro la investigación sería el de proveer una base para el monitoreo por parte de las autoridades competentes.

Las limitaciones que se suscitaron durante esta investigación fue el encontrarnos inmersos en el estado de emergencia debido a la pandemia razón por la cual nos limitó el poder salir con más frecuencia a campo y principalmente no tener acceso al laboratorio de la universidad para poder hacer las diversas pruebas, sumado a esto el análisis puede tener un margen de error en cuanto a la estimación de los parámetros al momento de procesar los datos.

En la corona del talud se recomienda hacer cunetas o zanjas con el fin de evitar la saturación de la zona. En la parte inferior se deberá implementar muros de

contención. Para el macizo rocoso sería importante disminuir la inclinación del talud en unos  $10^\circ$  implementando a su vez un enmallado con el fin de evitar la caída de rocas a la carretera.

## 4.2. Conclusiones

El estudio geomecánico consiste en la evaluación de un determinado macizo rocoso para poder conocer sus propiedades mecánicas e ingenieriles con el propósito de determinar su calidad, por este motivo fue primordial e indispensable el poder recolectar en campo todos los detalles geotécnicos de nuestra área de investigación para así poder tener una concepción de lo que ha pasado, está pasando y lo que puede llegar a pasar. Para complementar, nuestra data obtenida se procesó posteriormente en softwares especializados.

Se caracterizó el macizo rocoso presente en nuestro talud a través del RMR de Bieniawski con lo cual pudimos determinar que la calidad de la roca presente en nuestras estaciones tienen valoraciones que van de Muy Mala a Regular significando claramente que son indicadores de alerta en términos de seguridad y son un peligro latente.

Se realizó de igual manera una caracterización del macizo rocoso haciendo uso del GSI de Hoek y Brown en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades; evidenciando que la quinta estación presenta una resistencia triaxial muy débil teniendo valores que van de 15 a 20 a diferencia de las demás estaciones que superan valores de 30

Se determinó la proyección estereográfica haciendo uso del software Dips V6.0 con el que se pudo determinar en base a las discontinuidades que no se producirá falla vuelco pero sí tendremos una falla planar y en cuña.

Se calculó el Factor de Seguridad (FS) haciendo uso del software Swedge por el modelo de Mohr-Coulomb obteniéndose un factor de seguridad de 1.12 en condiciones saturadas y siendo también contrastado usando los mismos valores en el software Slide v6.0 obteniendo una valoración de  $1.117 \approx 1.12$  en condiciones pseudoestáticas con el fin de saber su comportamiento frente a un evento sísmico, ambas considerándose inestables según la norma de proyectos civiles.

Se diseñó la estabilidad del talud considerando que la mejor y más económica forma de hacerlo sería modificando su geometría al reducir el buzamiento en  $10^\circ$ , personalmente recomendamos actualizar el modelo cada 2 años con la finalidad de monitorearlo y hacer cambios en caso sea necesario, además de implementar un enmallado para evitar una posible caída de bloques.

## REFERENCIAS

- Alberca, A. (2020). *Estabilización de taludes utilizando geomalla coextruída mono-orientada en el tramo de la carretera Samne-Casmiche, Departamento la Libertad*. Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/43281>
- Bazán , O. (2013). *Columna estratigráfica de Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://sites.google.com/a/unc.edu.pe/orbasa/recursos>
- Calizaya, F. L. (2020). *Evaluación Geotécnica para la estabilidad de taludes en la trocha carrozable-Acconsaya-sector Cruzhuasa-Corani-Carabaya-Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14725>
- Camavilca, J. (2019). *Análisis de estabilidad de talud y propuesta de estabilización en el Km 93 de la Carretera Central, distrito San Mateo – Huarochirí, Lima 2019*. Trujillo: Univerdad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40015>
- Ccahuana, S., & Sanchez, J. (2019). *Análisis de estabilidad de talud mediante métodos de equilibrio límite para la Carretera Huancavelica - Lircay entre las progresivas del km 02+700 al km 02+800*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2881>
- Ccora, A. (2019). *Determinación de las condiciones del macizo rocoso en la profundización del avance en la zona Esperanza del nivel 23 mediante un análisis Geomecánico en la Unidad Minera Americana de Cía. Minera Casapalca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10475>
- Chocce, F. (2018). *Relación entre el control topográfico y estabilidad de taludes de la carretera Puerto Bermúdez - Ciudad Constitución, tramo km 38+360 al km 38+450, región - Pasco 2018*. Trujillo: Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61510>
- Choquehuayta, R. (2019). *Clasificación de la Caracterización Geomecánica en minería subterránea en Morro Pelado de U.E.A Ana María-La Rinconada*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12703>
- Díaz, M., & Rodríguez , J. (2017). *Estudio de la estabilidad de taludes en roca entre los kilómetros 95 al 97 de la carretera Ciudad de Dios-Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12738>
- Falconí, A. (2017). *Análisis geotécnico de los taludes en la carretera Bambamarca - Paccha entre los kilómetros 0 a 30, distrito de Chota, Cajamarca*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1535>
- García, J. (2017). *“Estabilización de taludes de la carretera PE-3N, Km 263+100*. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan. Obtenido de <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/2849>
- Hoek. (1995). *Geological Strenght Index*. Londres.
- INGEMMET. (2021 de Abril de 2021). *gob.pe*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/noticias/429942-ancash-ingemmet-realizara-evaluacion-geologica-en-huari-tras-deslizamiento>
- Mamani, R. (2016). *Análisis de la estabilidad de taludes en macizo rocoso de la carretera Sina Yanahuaya tramo III - sub tramo 02, a partir de la caracterización geológica y resistencia a la compresión simple*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12729>

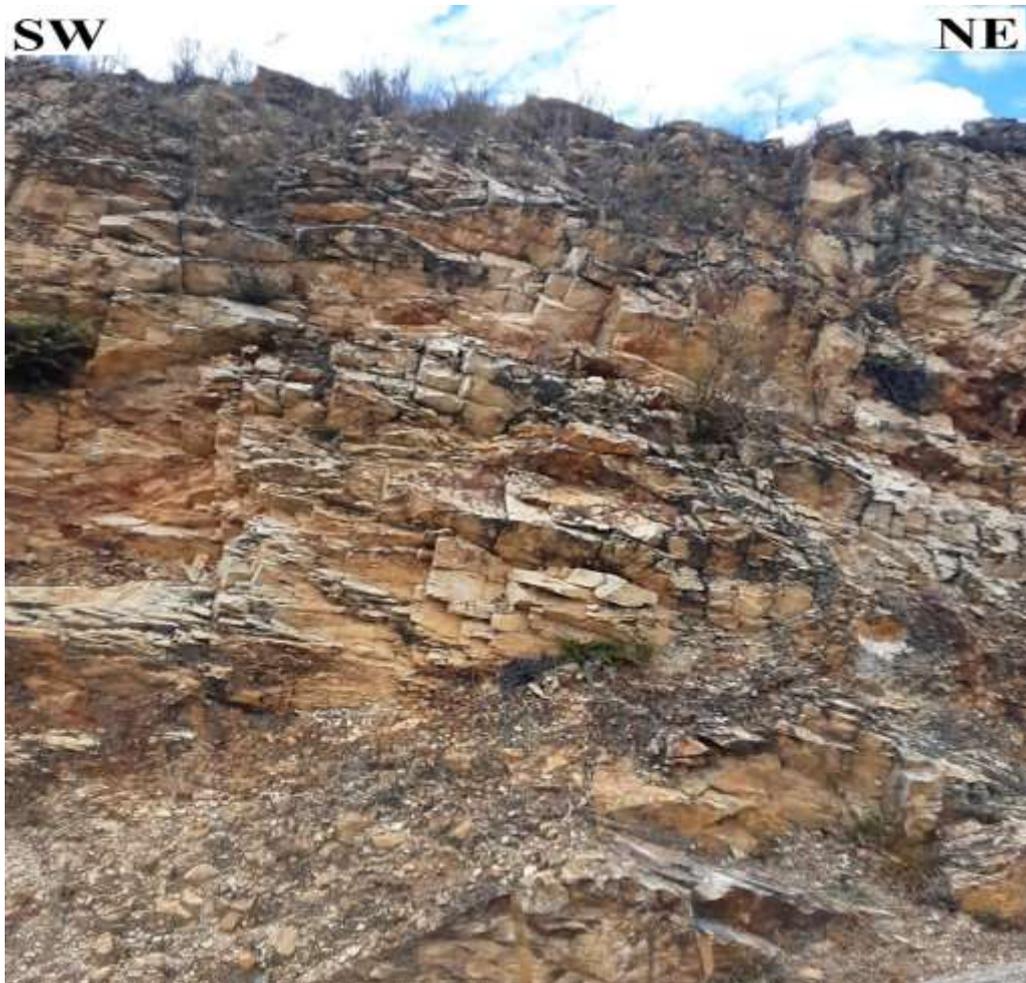
- Marín, S. (2019). *Determinación geomecánica de taludes en zonas críticas en la carretera San Juan - Huacraruco entre los kilómetros 3+000 - 6+200*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3465>
- Ministerio de Vivienda. (2016). *Diseño Sismorresistente*. Perú: Norma técnica E030.
- Morales, P. (2019). Deslizamiento en el distrito de San Juan. *Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN*, 1-2.
- Navarro, J. (2019). *Evaluación geomecánica con fines de estabilidad de talud carretera Mariscal Castilla Huancayo - Huancavelica*. Huancayo: Universidad Peruana Los Andes. Obtenido de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/926>
- Oblitas, J. (2018). *Guía de investigación científica*. Lima: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-privada-del-norte/metodos/otros/guia-ingenieria-upn-2018/13023098/view>
- Primer Taller Geotécnico Interdivisional. (1997). *Estándares para la caracterización geomecánica de las rocas, estructuras y macizos rocosos*. La Serena.
- SEMANA. (13 de Diciembre de 2020). Cierre total e indefinido en la autopista Medellín-Bogotá. 1-2. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/articulo/cierre-total-e-indefinido-en-la-autopista-medellin-bogota/202008/>
- Suarez, J. (2009). *Comportamiento Sísmico*. México.
- UPC. (2010). *El sostenimiento de túneles basado en las clasificaciones geomecánicas*. E.T.S.E.C.C.P.B. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6215/00.pdf>
- Weather Spark. (03 de Junio de 2021). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/>

## ANEXOS

### ANEXO n.º 1. Foto Panorámica del Talud.



### ANEXO n.º 2. Roca presente en el talud.



**ANEXO n.º 3. Estaciones de nuestra zona de estudio.**



**ANEXO n.º 4. Tomando apuntes y graficando nuestro talud.**



**ANEXO n.º 5. Transitabilidad en la zona de estudio.**



**ANEXO n.º 6. Midiendo el espaciamiento entre discontinuidades.**



**ANEXO n.º 7. Llenando la tabla del Mapeo Geomecánico RMR.**



**ANEXO n.º 8. Toma de datos usando la brújula.**

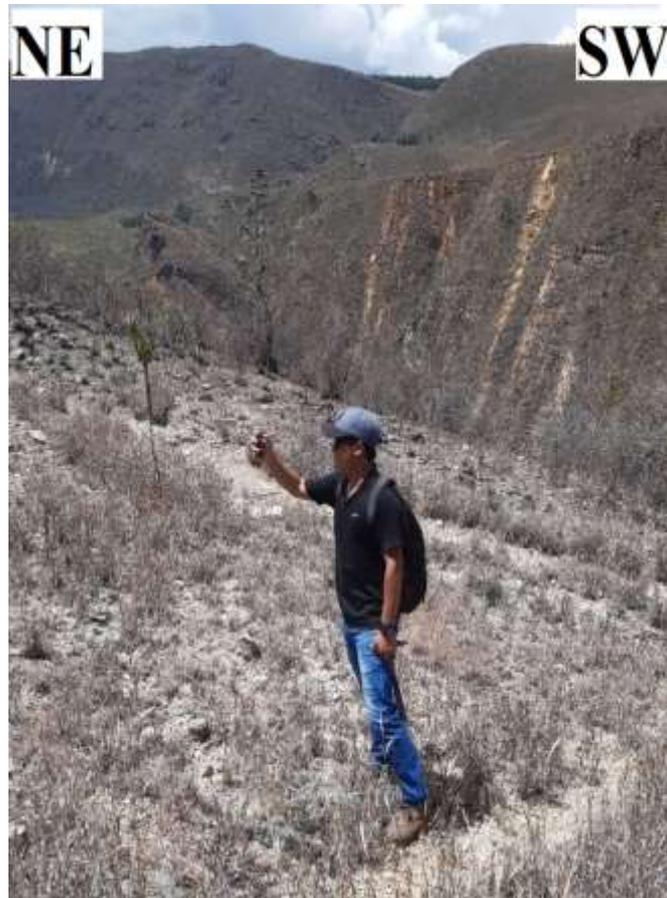


**ANEXO n.º 9. Toma de datos con la wincha.**

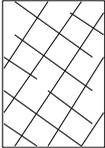
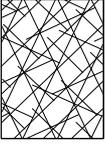


**ANEXO n.º 10. Usamos el GPS para tomar las coordenadas y sacar los datos para el levantamiento topográfico.**





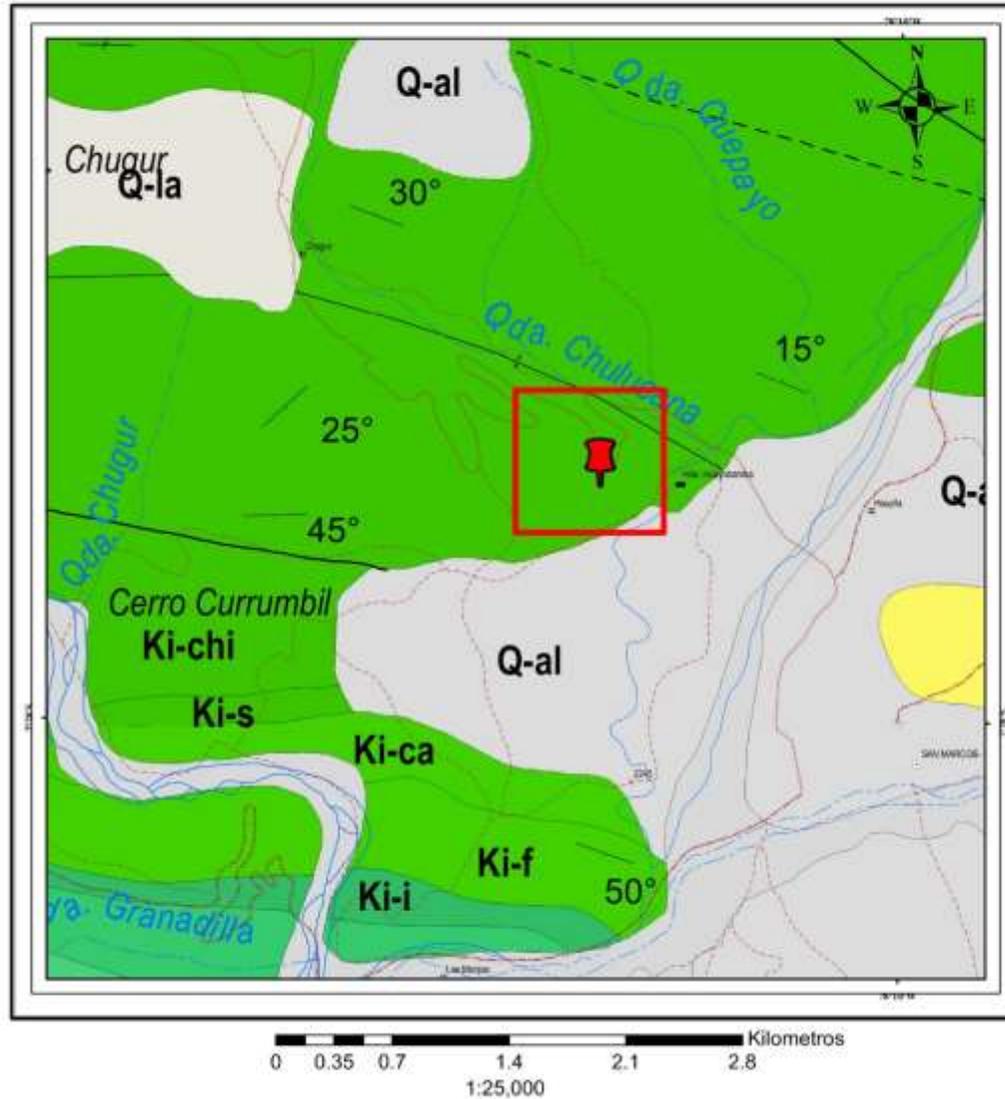
**ANEXO n.º 11. Gráfico del GSI usado para el estudio.**

<p><b>INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA</b></p> <p>Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, <b>GSI</b>, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para <b>GSI</b>, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p> <p><b>ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO</b></p>		<p><b>CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b></p> <p><b>MUY BUENA</b> Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración)</p> <p><b>BUENA</b> Superficies rugosas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro</p> <p><b>REGULAR</b> Superficies lisas, cajas intemperizadas y/o alteradas moderadamente</p> <p><b>MALA</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p><b>MUY MALA</b> Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos</p> <p><b>EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES</b> </p>				
 <p><b>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SI.</p>	<p><b>DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA</b> </p> <p>80</p> <p>70</p>					
 <p><b>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY)</b> MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	<p>60</p> <p>50</p>					
 <p><b>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED)</b> MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	<p>40</p> <p>30</p>					
 <p><b>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED)</b> MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS.</p>	<p>20</p> <p>10</p>					



**ANEXO n.º 13. Plano Geológico.**

**MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO**



SISTEMA	ERA	PERIODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CUATERNARIO	HOLOCENO	Deposito fluvial	Q-f
		Deposito aluvial	Q-al
		Deposito lacustre	Q-la
NEÓGENO	MIOCENO	Formación Capatamba	Ki-cp
		Formación Fariel	Ki-f
MESOZOICO	CRETÁCICO	Formación Paratambo	Ki-pa
		Formación Paratambo	Ki-pa
MESOZOICO	CRETÁCICO	Formación Paratambo	Ki-pa
		Formación Paratambo	Ki-pa



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de Ingeniería Geológica

Br. Jhordann Vásquez Villena    Br. Geyny Goicochea

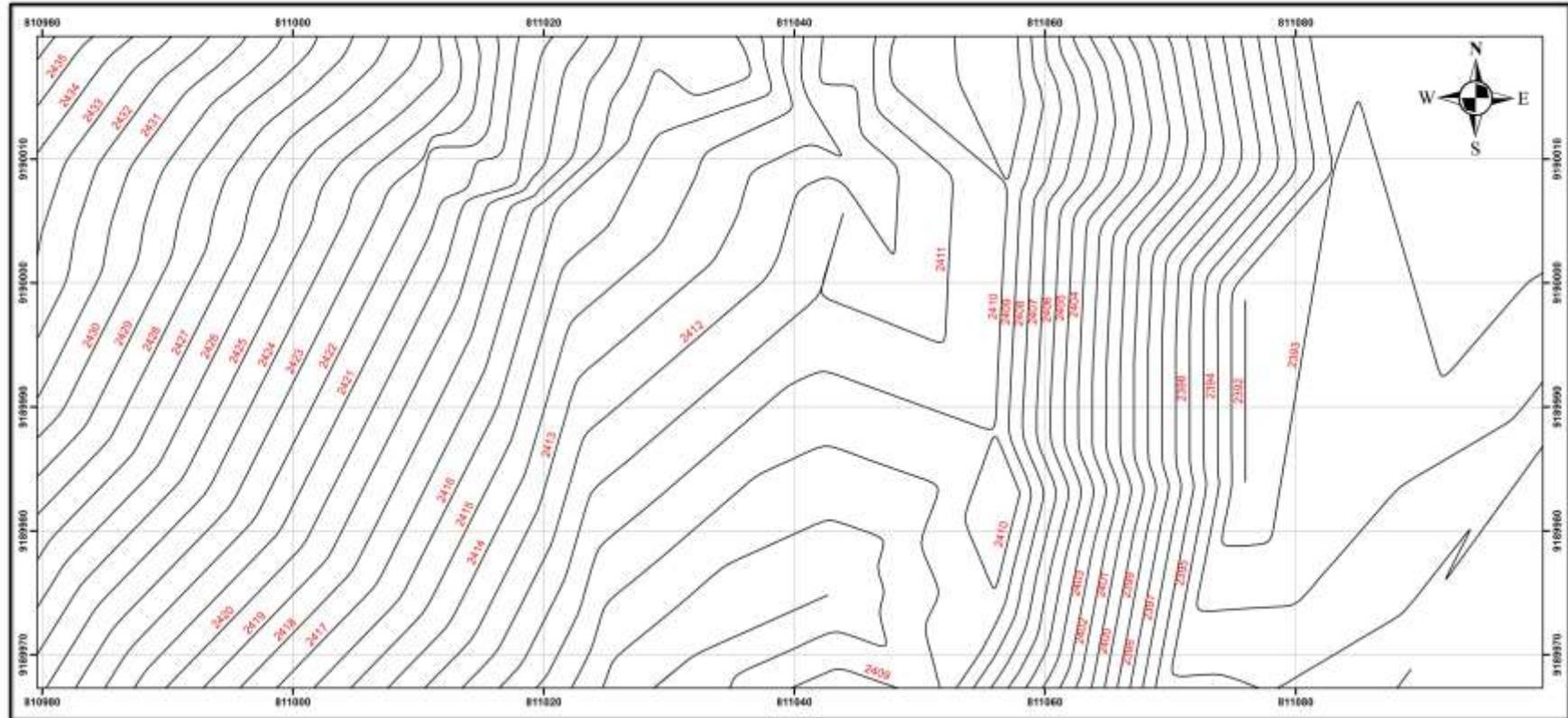
---

ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL TALUD “CHULUCANA” DE LA PROGRESIVA 1213+000 AL 1213+500 CARRETERA SAN MARCOS, CAJAMARCA 2020.

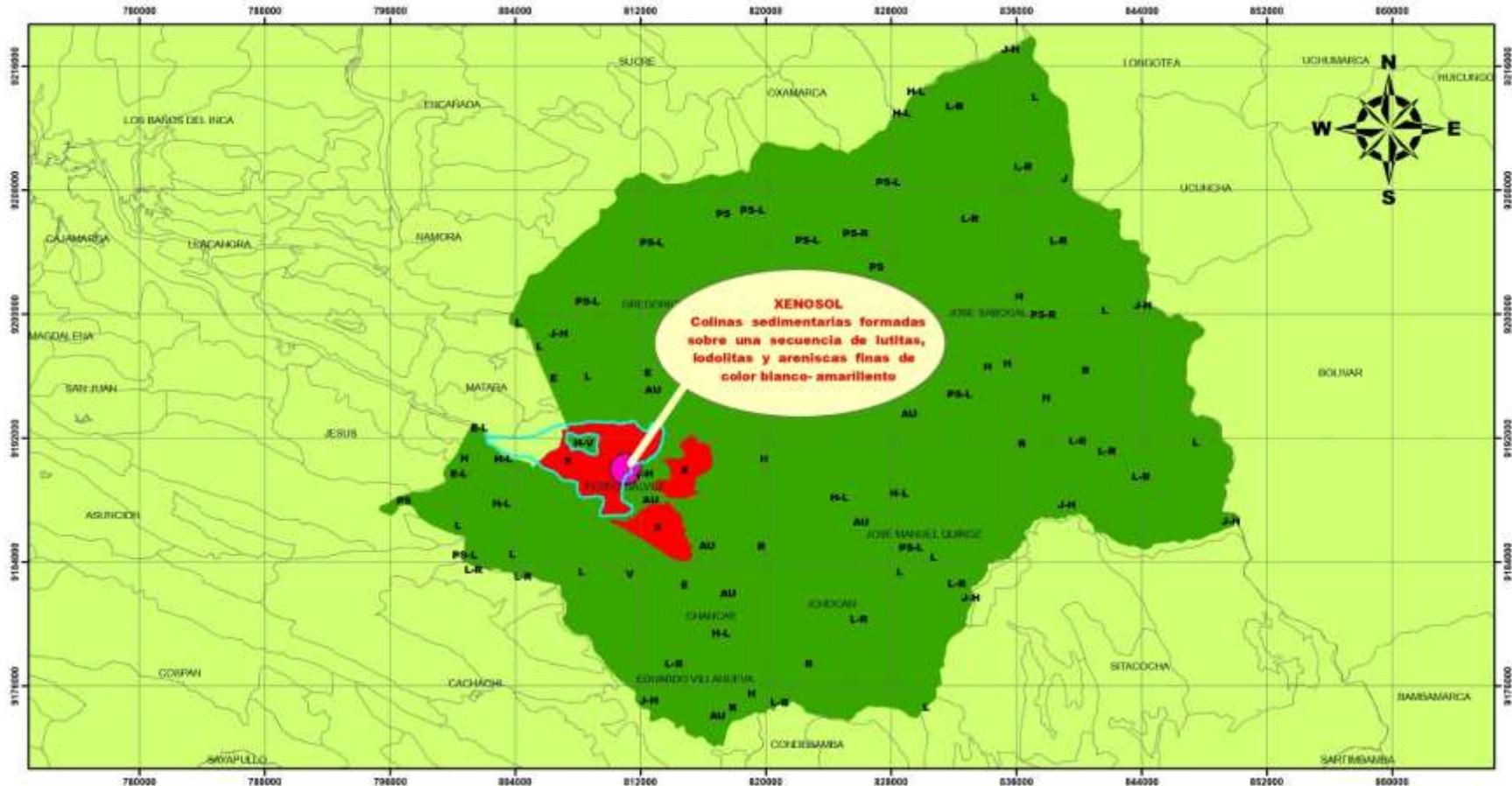
	PLANO: GEOLÓGICO			PLANO N° 01.
	DPTO	PROV.	DISTRITO	Sistema de coordenadas: UTM-WGS84
	Cajamarca.	San Marcos.	Pedro Gálvez.	ESCALA: 1: 25 000

ANEXO n.º 14. Plano Topográfico.

MAPA TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO



ANEXO n.º 15. Mapa de Suelos.



LEYENDA

TALUD

PROVINCIA DE SAN MARCOS

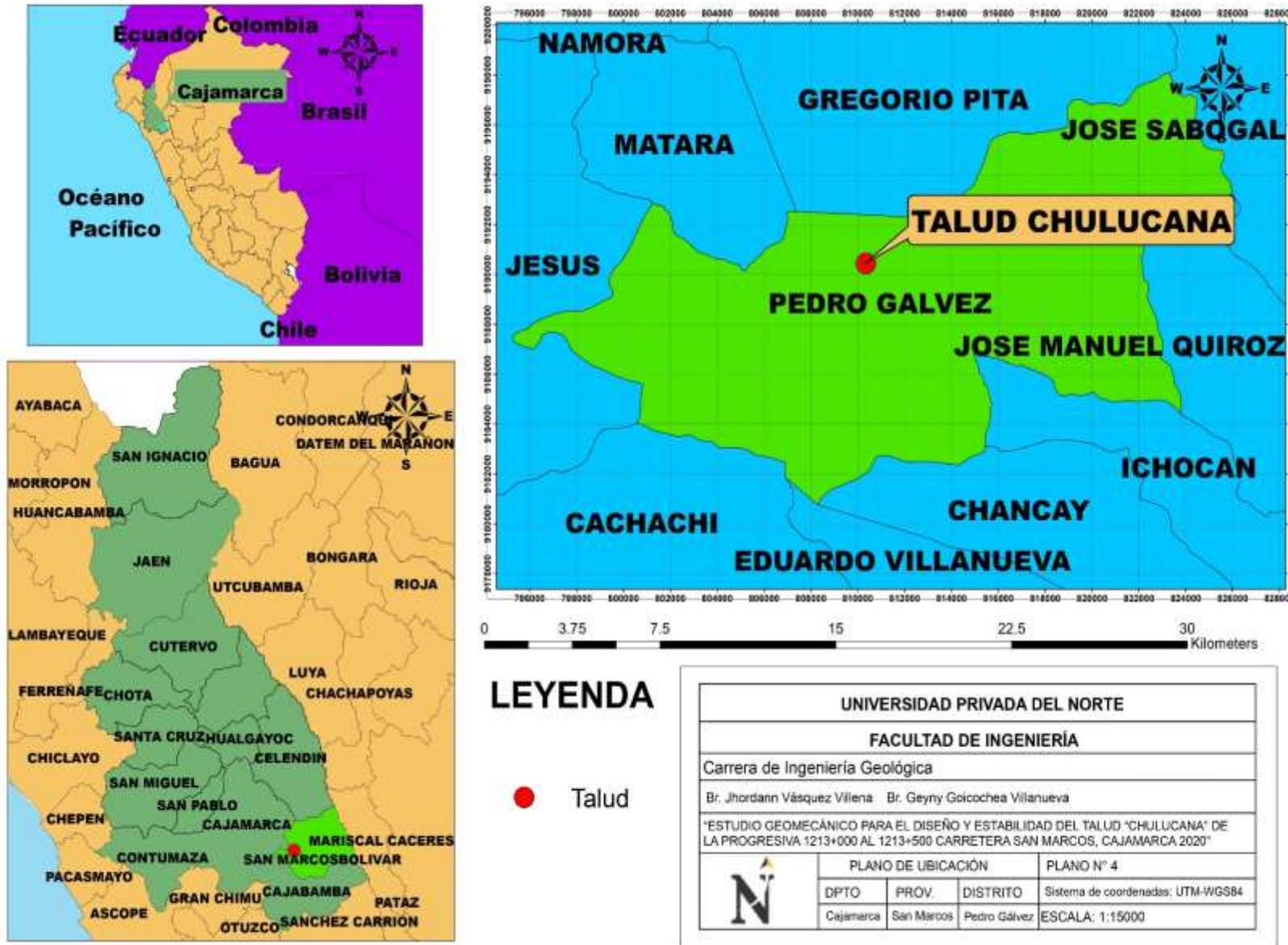
SAN MARCOS

SUELO EN EL TALUD

DISTRITOS

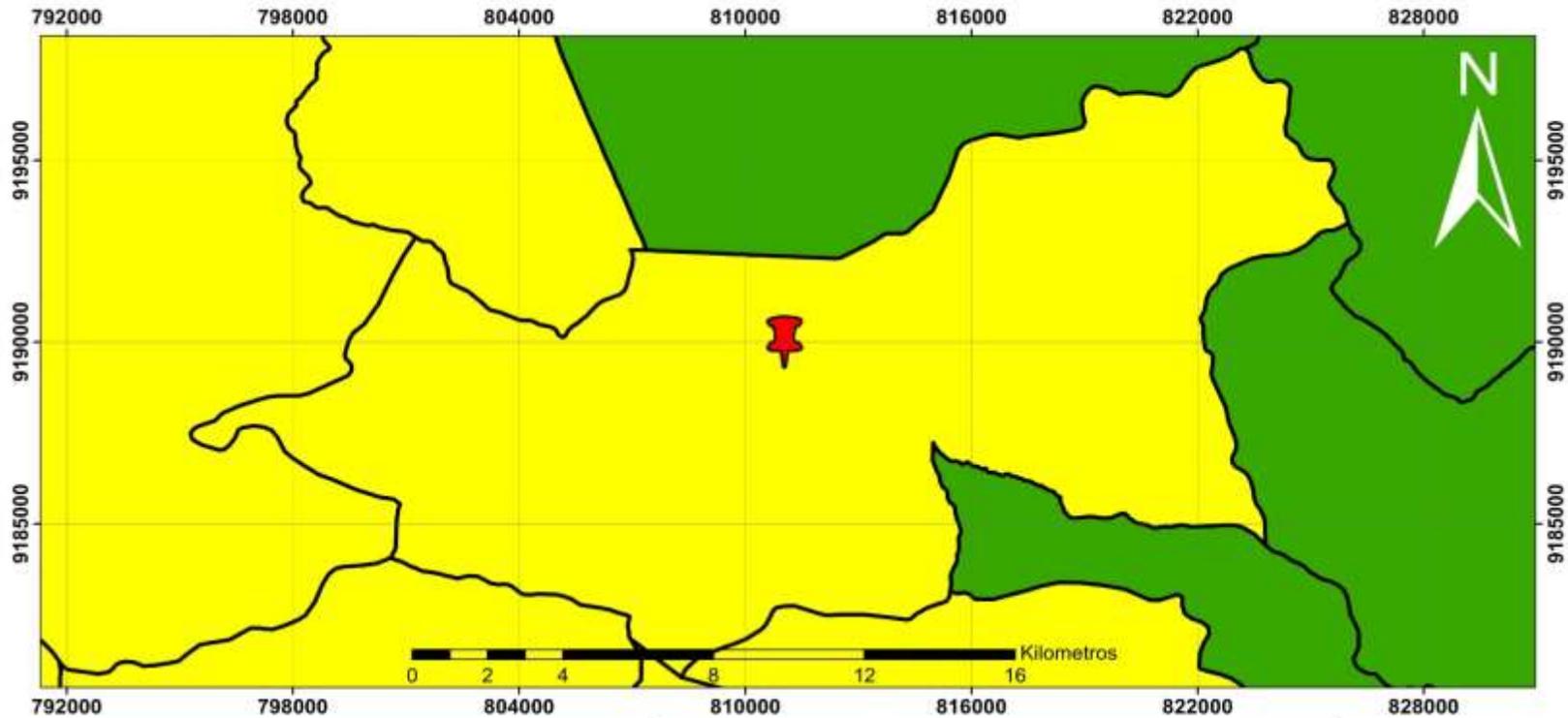
<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>			
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Bc. Jhordann Vásquez Villena - Bc. Geyny Goicochea Villanueva			
ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL TALUD "CHULUCANA" DE LA PROGRESIVA 1213+000 AL 1213+500 CARRETERA SAN MARCOS, CAJAMARCA 2020"			
	PLANO DE SUELOS		PLANO N° 03
	DPTO. Cajamarca	PROV. San Marcos	DISTRITO Pedro Galvez
			Sistema de coordenadas: UTM-WGS84 ESCALA: 1:10000

ANEXO n.º 16. Mapa de Ubicación.



ANEXO n.º 17. Mapa de Zonificación Sísmica.

### MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA



**LEYENDA**

Talud "Chulucana"

**Zonificación**

Zona 2 0.25.

Zona 3 0.35

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

Br. Jhordann Vásquez Villera Br. Geyny Goicochea

ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO Y ESTABILIDAD DEL TALUD "CHULUCANA" DE LA PROGRESIVA 1213+000 AL 1213+500 CARRETERA SAN MARCOS, CAJAMARCA 2020.

PLANO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA		PLANO N° 05.
DPTO.	PROV.	DISTRITO
Cajamarca.	San Marcos.	Pedro Gálvez.
Sistema de coordenadas: UTM-WGS84		ESCALA: 1: 100 000

ANEXO n.º 18. Mapa de Accesibilidad.

