



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD UBICADO EN EL Km 130 + 250 – Km 130 + 450, SAN JUAN- CAJAMARCA, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Luis Kleiber Araujo Sánchez

Asesor:

Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Esta tesis lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para cumplir mis objetivos. A mis padres por el apoyo incondicional en todo momento. Y a todas las personas que me han apoyado.

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a Dios, a todas las personas que me apoyaron incondicionalmente, a mi alma mater Universidad Privada del Norte y a mi asesor de tesis el Ing. Portilla Castañeda, Miguel Ricardo.

CONTENIDO

DEDICATORIA	Pág.2
AGRADECIMIENTO	Pág.3
ÍNDICE DE TABLAS	Pág.6
ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.8
ÍNDICE DE ECUACIONES	Pág.11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	Pág.13
1.1 Realidad problemática.....	Pág.13
1.2 Formulación del problema.....	Pág.20
1.3 objetivos.....	Pág.20
1.3.1 objetivo general.....	Pág.20
1.3.2 Objetivos específicos.....	Pág.21
1.4 Hipótesis.....	Pág.21
1.4.1 Hipótesis general.....	Pág.21
1.4.2 Hipótesis específicas.....	Pág.21
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	Pág.22
2.1 Tipo de Investigación.....	Pág.22
2.2 Población y muestra.....	Pág.22
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	Pág.22
2.4 procedimiento.....	Pág.23
CAPÍTULO III. RESULTADOS	Pág.30
3.1 Aspectos generales.....	Pág.30
3.1.1 Ubicación.....	Pág.30
3.1.2 Accesibilidad.....	Pág.31
3.1.3 Clima y vegetación.....	Pág.32
3.2 Geología.....	Pág.33
3.2.1 Geomorfología.....	Pág.33
3.2.2 Estratigrafía.....	Pág.35
3.2.3 Depósitos cuaternarios.....	Pág.40
3.3.4 Geología Estructural.....	Pág.42
3.3 Hidrología.....	Pág.46
3.4 Geotécnia.....	Pág.48
3.4.1 Estaciones de control geotécnico.....	Pág.49
3. 4.2 Determinación de los parámetros de resistencia al corte.....	Pág.62
3.5 Análisis de estabilidad.....	Pág.64

3.5.1 Cálculo del factor de seguridad.....	Pág.64
3.6 Clasificación geomecánica.....	Pág.71
3.6.1 Clasificación geomecánica del RMR.....	Pág.72
3.6.2 Clasificación geomecánica del SMR.....	Pág.73
3.7 Análisis mediante el software Dips.....	Pág.75
3.7.1 Análisis de falla planar.....	Pág.76
3.7.2 Análisis de falla en cuña.....	Pág.77
3.7.3 Análisis de falla por vuelco.....	Pág.78
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	Pág.79
4.1 Discusión.....	Pág.79
4.2 Conclusiones.....	Pág.83
REFERENCIAS.....	Pág.84
ANEXOS.....	Pág.86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas geográficas del Talud EL Naranjo.....	27
Tabla 2	Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de estudio.....	30
Tabla 3	Ruta a la zona de estudio.	31
Tabla 4	Data de la estación microtectónica.	44
Tabla 5	Paleoesfuerzos de la falla presente en la zona de estudio.	45
Tabla 6	Precipitaciones entre el año 2015 al 2019 de la Estación Meteorológica MAGDALENA-SENAMHI.	46
Tabla 7	Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 01.	50
Tabla 8	Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 01.....	51
Tabla 9	Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 01.	52
Tabla 10	Clasificación de Suelos de la Estación N° 01.....	53
Tabla 11	Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 02.	54
Tabla 12	Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 02.....	56
Tabla 13	Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 02.	57
Tabla 14	Clasificación de Suelos de la Estación N° 01.....	58
Tabla 15	Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 03.	58
Tabla 16	Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 03.....	60
Tabla 17	Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 03.....	61
Tabla 18	Clasificación de Suelos de la Estación N° 03.....	61
Tabla 19	Características de la muestra 01 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).	62
Tabla 20	Aplicación de carga a la muestra 01 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).....	62
Tabla 21	Características de la muestra 02 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).	62
Tabla 22	Aplicación de carga a la muestra 02 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).....	63
Tabla 23	Características de la muestra 03 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).	63
Tabla 24	Aplicación de carga a la muestra 03 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).....	63
Tabla 25	Resultado de los factores de seguridad de las secciones 01 y 02.	70
Tabla 26	propiedades Geomecánicas de la Formación Pariatambo. (Software RocData v5.0).	71
Tabla 27	Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.	72

Tabla 28 Medidas de sostenimiento recomendadas para cada clase de estabilidad según el SMR.....	74
Tabla 29 Data de campo.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Detalle de la caja de ensayo de corte.....	Pág.24
<i>Figura 2.</i> Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.	Pág.25
<i>Figura 3.</i> Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).....	Pág.27
<i>Figura 4.</i> Ubicación de la zona de estudio.	Pág.31
<i>Figura 5.</i> Accesibilidad a la zona de estudio.....	Pág.32
<i>Figura 6.</i> Vegetación de la zona de estudio.	Pág.32
<i>Figura 7.</i> Lomada al margen derecho del talud el Naranjo.....	Pág.33
<i>Figura 8.</i> Planicie formada al margen del Río Magdalena.....	Pág.34
<i>Figura 9.</i> Zona de laderas a lo largo del Río Magdalena.	Pág.34
<i>Figura 10.</i> Formación Pariatambo, se muestran estratos finos de calizas bituminosas fuertemente disturbadas.....	Pág.36
<i>Figura 11.</i> Formación Yumagual, compuesto por calizas de color amarillentas intercaladas con lutitas de estratos delgados.	Pág.37
<i>Figura 12.</i> Secuencia de calizas masivas de la Fm. Quilquiñan Mujarrúm. Se evidencia fósil del género Exogyra del Miembro Culebra.	Pág.38
<i>Figura 13.</i> Formación Cajamarca, se aprecia calizas oscuras y azuladas con delgados lechos de lutitas.....	Pág.39
<i>Figura 14.</i> Dique intruido en la Fm. Pariatambo.	Pág.39
<i>Figura 15.</i> Depósitos coluvio-aluviales compuestos por arcillas y limos de alta plasticidad.	Pág.40
<i>Figura 16.</i> Depósitos deluviales ubicados en la parte superior del talud.....	Pág.41
<i>Figura 17.</i> Depósitos fluviales formados en las márgenes del Río Magdalena.....	Pág.42
<i>Figura 18.</i> Sinclinal y anticlinal ubicado al de la zona de estudio.....	Pág.43
<i>Figura 19.</i> Plegamientos de calizas de la Fm. Pariatambo, debido a la compensación de materiales producto del deslizamiento.	Pág.43
<i>Figura 20.</i> Estrías de falla.	Pág.44
<i>Figura 21.</i> Análisis estereográfico de paleoesfuerzos en el software Faultkin que generaron la falla Normal Sinistral con esfuerzo compresivo.	Pág.45
<i>Figura 22.</i> Precipitaciones de la zona de estudio del 2015 al 2019.	Pág.47

<i>Figura 23.</i> Hundimiento en la carretera del talud.	Pág.48
<i>Figura 24.</i> Grietas en la parte superior del talud.....	Pág.49
<i>Figura 25.</i> Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°01 del Talud. ...	Pág.50
<i>Figura 26.</i> Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 01.	Pág.52
<i>Figura 27.</i> Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°02 del Talud. ...	Pág.55
<i>Figura 28.</i> Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 02.	Pág.56
<i>Figura 29.</i> Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°03 del Talud. ...	Pág.59
<i>Figura 30.</i> Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 03.	Pág.60
<i>Figura 31.</i> Sección 01 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 1.008, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.....	Pág.65
<i>Figura 32.</i> Sección 01 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 1.008, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.	Pág.66
<i>Figura 33.</i> Sección 02 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.744, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.....	Pág.66
<i>Figura 34.</i> Sección 02 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.744, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.	Pág.67
<i>Figura 35.</i> Sección 01 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.711 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.....	Pág.68
<i>Figura 36.</i> Sección 01 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.708 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.	Pág.69
<i>Figura 37.</i> Sección 02 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.616 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.....	Pág.69

<i>Figura 38.</i> Sección 02 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.620 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.	Pág.70
<i>Figura 39.</i> Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud, con límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se evidencia que no se produce la falla planar según las características geomecánicas.....	Pág.76
<i>Figura 40.</i> Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.	Pág.76
<i>Figura 41.</i> Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud. Se evidencia que no se produce la falla en cuña para las discontinuidades antitéticas en dirección según las características geomecánicas.....	Pág.77
<i>Figura 42.</i> Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.	Pág.77
<i>Figura 43.</i> Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud, con límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se evidencia que no se produce la falla por vuelco en ninguna de las familias de discontinuidades ni estratificación, según las características geomecánicas.	Pág.78
<i>Figura 44.</i> Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.	Pág.78
<i>Figura 45.</i> Toma de datos de los depósitos cuaternarios del Talud el Naranjo.	Pág.87
<i>Figura 46.</i> Toma de datos del macizo roco de la Formación Pariatambo.....	Pág.87
<i>Figura 47.</i> Levantamiento topográfico del Talud el Naranjo.....	Pág.88
<i>Figura 48.</i> Toma de muestras de suelo del talud El Naranjo.	Pág.88
<i>Figura 49.</i> Análisis mecánico por tamizado de suelos.	Pág.89
<i>Figura 50.</i> Determinación del límite líquido y límite plástico de los suelos.....	Pág.89
<i>Figura 51.</i> Hundimiento en la carretera del Talud el Naranjo.	Pág.90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación(1).....	Pág.25
Ecuación(2).....	Pág.28

RESUMEN

El 21 de abril del 2016 ocurrió un deslizamiento, en el Km 130+250 al Km 130+450 de la Carretera Chilete-Cajamarca, en el distrito de San Juan, Provincia de Cajamarca, siendo el agente desencadenante el agua, originado principalmente por las precipitaciones. En el presente año se realizó una visita a la zona de estudio, donde se pudo observar hundimientos y grietas los cuales son indicios de que ocurra un nuevo deslizamiento. Este estudio tiene como objetivo realizar un análisis pseudoestático para determinar la estabilidad del talud. Para ello se realizó tomas de data en campo, teniendo como población al talud y muestra a las 3 estaciones para depósitos no consolidados y 1 estación para roca. Se procedió a realizar ensayos de laboratorio clasificando a los suelos como CL y a la roca de calidad media, los cuales son muy propensos a fenómenos de sismicidad. Estos resultados fueron analizados mediante el software Slidev7.0 (Spencer y Morgenstern-Price) en condiciones estáticas y pseudoestáticas, clasificándolo al talud como inestable según la norma para proyectos civiles. Concluyendo que el análisis pseudoestático permite predecir el comportamiento de estabilidad física del talud frente a un evento sísmico que se podría producir por eventos tectónicos.

Palabras clave: Deslizamiento, Hundimiento, Grietas, Agente, Pseudoestático, Estabilidad, Sismicidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Las carreteras son vías de transporte que hacen posible las diferentes actividades para el ser humano, el fenómeno de la inestabilidad de taludes es uno de los procesos geológicos con más ocurrencia en la serranía de nuestro país, provocando deslizamientos que causa pérdidas humanas y económicas cuantiosas. (Tardeo, 2016)

La zona de estudio forma parte de la carretera principal Cajamarca-Ciudad de Dios, donde los taludes están constituidos por depósitos cuaternarios y rocas sedimentarias calcáreas con discontinuidades, en donde las condiciones climáticas, sísmicas y vibraciones por desplazamientos de vehículos afectan la estabilidad de los taludes, los cuales son propensos al deslizamiento; siendo mayor el riesgo en periodos de lluvia. Es por ello que realizar un análisis geotécnico es muy importante para evaluar sus condiciones actuales, identificar futuros problemas e implementar medidas de prevención. (Arteaga, 2017)

El deslizamiento ocurrió el 21 de abril del 2016, en el Km 130+250 al Km 130+450 de la principal vía que une a Cajamarca con la costa, siendo el agente desencadenante el agua, originado principalmente por las precipitaciones, el cual provocó el desplazamiento de una gran masa de suelo incluyendo parte de la carretera. (INGEMMET, 2016)

En el presente año se realizó una visita a la zona de estudio, donde se pudo observar indicios de que ocurra un nuevo deslizamiento.

En esta investigación se formula la siguiente pregunta: ¿Cuál es el resultado del análisis pseudoestático del talud ubicado en el Km 130+250 - Km 130+450, San Juan-Cajamarca, 2019?

(González, 2002, pág. 431) Nos dice que los análisis de estabilidad permiten diseñar los taludes, mediante el cálculo de su factor de seguridad, y definir el tipo de medidas correctoras o estabilizadores que deben ser aplicadas en caso de roturas reales o potenciales. Para ello es necesario el conocimiento geológico y geomecánico de los materiales que forman el talud, de los posibles modelos o mecanismos de rotura que pueden tener lugar y de los factores que influyen, condicionan y desencadenan las inestabilidades.

(Suárez, 2009) Señala que: “Los eventos sísmicos son capaces de inducir fuerzas de gran magnitud (de naturaleza cíclica) las cuales pueden producir la falla rápida de taludes y laderas. Además, la resistencia al corte de un suelo, puede reducirse a causa de las cargas oscilatorias que generan deformaciones cíclicas, o debido a la generación de presiones de poros altas”.

(Arteaga, 2017) En su tesis “Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa-Magdalena”, determinó que los factores geológicos-geotécnicos y el factor de seguridad influyen en la inestabilidad de un talud, siendo los taludes más inestables de la zona de los que están compuestos por depósitos cuaternarios, los cuales son suelos gravosos, con abundantes finos arcillosos y limosos.

(Mendoza, 2016) En su tesis, “Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay”, estudió los taludes de la mina, realizando análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas con valores variables, el cual permitió definir los parámetros más óptimos de diseño de taludes con el fin de reducir los riesgos de deslizamiento.

(Montoya, 2014) En su tesis “Evaluación geotécnica de los taludes de la carretera Cruz Blanca- El Gavilán”, analizó la inestabilidad de los taludes tomando en cuenta el contexto geológico local, regional y la estrecha relación que existe con los agentes geodinámicos los cuales provocan alteraciones en las propiedades de la roca y la disminución de los esfuerzos de resistencia como la cohesión, la fricción interna y las fuerzas resistentes, por lo cual se produce la inestabilidad de los taludes.

(Carunambo, 2017) En su tesis “Evaluación geomecánica de los taludes de la carretera Encañada-Celendín en el tramo km 32+000 - km 46+000”, planteó que las características y propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas de los taludes influyen en la inestabilidad provocando deslizamientos y caídas de rocas. Determinando que el análisis de macizos rocosos da información más precisa en cuanto a estabilidades.

(Mendo, 2018) En su tesis “Análisis de estabilidad del talud del Megacentro comercial 30 de enero y propuesta de solución con el sistema Soil Nailing- Jicamarca, 2018”, señala que ningún tipo de análisis puede ser elaborado sin tener un ensayo que determine los parámetros geotécnicos del sitio.

En el año 2011 el INGEMMET realizó el estudio "Riesgos geológicos en la región de Cajamarca", donde señala que las regiones del norte del país están inmersos de manera intrínseca al desencadenamiento de deslizamientos de gran magnitud, causando serios daños a la economía de la región y afectando al desarrollo normal de la población en general.

La presente investigación se desarrollará basada en las siguientes teorías:

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)), este sistema nos permitirá clasificar los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande. (Braja, 2001, pág. 39)

Clasificación de Deere (RQD), este parámetro se obtiene a partir del número de fracturas de un macizo expuesto, y nos permitirá estimar el grado de fracturación del macizo rocoso. Sobre esta base propone el índice cuantitativo RQD (Rock Quality Designation). (Ramírez & Alejano, 2004, pág. 147)

Clasificación de Bieniawski (Sistema RMR), Según (Belandria & Bongiorno, 2017), este sistema nos permitirá indicar la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros: Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, RQD, espaciado de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, presencia del agua y orientación de las discontinuidades.

Clasificación geomecánica de romana (SMR), el índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico, restando un “factor de ajuste” que es función de la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y sumando un “factor de excavación” que depende del método utilizado. (Belandria & Bongiorno, 2017)

Método de límite de equilibrio, “Este método consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento”. (Suárez, 2009, pág. 130)

Además, señala que un análisis de límite de equilibrio permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud. El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Utilizaremos Morgenstern-Price y Spencer, ayudados por programas de software que permiten realizar análisis muy rigurosos. Generalmente, los métodos son de iteración y cada uno de éstos posee un cierto grado de precisión.

Para determinar los factores que afectan a la estabilidad del talud El Naranjo se tendrá en cuenta los factores externos e internos.

(Suárez, 2009) Cita a Terzaghi (1950), el cual hizo una diferenciación entre los factores externos e internos que afectan la ocurrencia de los deslizamientos. Tanto las causas internas como las externas, afectan el estado de equilibrio de un talud de dos maneras diferentes o por la combinación de estas dos formas: Disminución de la resistencia al cortante y Aumento de los esfuerzos de cortante.

(Suárez, 2009) Señala que: "La presión de poros consiste en la presión en el agua dentro de los poros de suelo y se identifica con la letra " μ ". La presión de poros disminuye los esfuerzos normales efectivos entre las partículas, trata de separarlas y disminuye la resistencia a la fricción".

(Suárez, 2009) Define al Esfuerzo Efectivo como: "Una masa de suelo saturada está compuesta por dos fases distintas: el esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y también por la presión del agua".

(Suárez, 2009) Define al El esfuerzo total como:" La suma de todas las fuerzas, incluyendo aquellas transmitidas a través de contactos entre partículas, aquellas transmitidas a través de la presión de poros en el agua (divididas por el área total) e incluyendo el área de sólidos y el área de vacíos".

“El diagrama de Mohr es el método más común para representar los resultados de los ensayos de corte en los suelos. El círculo de Mohr representa un ensayo triaxial y la envolvente de los círculos de Mohr representa el estado de los esfuerzos en el momento de una falla al cortante”. (Suárez, 2009, pág. 82)

(Suárez, 2009) Señala que: “El Ensayo de Corte Directo es el ensayo más común para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos”.

(Suárez, 2009) Menciona que: “La resistencia al cortante de macizos rocosos se analiza asumiendo que la roca se comporta de acuerdo con Mohr-Coulomb. La roca puede ser intacta o fracturada”.

Además, señala que para ensayos de roca intacta se utiliza comúnmente el ensayo de compresión simple o inconfiada, en el cual se obtiene un valor de la cementación o cohesión, aunque existen formas de determinar el ángulo de fricción y cohesión de las rocas. La compresión simple permite determinar la competencia de la roca.

(González, 2002) Define el factor de seguridad como: “El valor que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales que presenta el talud, y las condiciones que llevan a su rotura. El factor de seguridad es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad asociados a todas las superficies de deslizamiento posibles”.

Durante el desarrollo de la investigación se va a estudiar y analizar la estabilidad del talud, identificando el tipo de suelo, roca, fracturamiento, fallas, el tipo de rotura y el sistema de diaclasa principal en el cual se producirá el deslizamiento y las características físicas y mecánicas de los materiales que lo conforman. También se determinaran los factores externos e internos que afectan la estabilidad. También se determinará un tipo de sostenimiento que garantice la estabilidad del talud ante un evento. Y con ello dando a conocer la importancia del análisis de estabilidad de taludes en las carreteras que comunican a la ciudad de Cajamarca con otras poblaciones. También proveerá información para investigaciones futuras de la zona estudiada y alertar la población aledaña si realmente se puede producir un deslizamiento en el talud mencionado.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el resultado del análisis pseudoestático del talud ubicado en el Km 130+250 - Km 130+450, San Juan-Cajamarca, 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar un análisis pseudoestático para determinar la estabilidad del talud ubicado en el Km 130+250 - Km 130+450, San Juan-Cajamarca, 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar el cartografiado geológico de la zona para determinar el tipo de litología, y caracterizar los suelos y el macizo rocoso.
- ✓ Determinar el tipo de rotura que se formará de acuerdo a la orientación de las discontinuidades del talud.
- ✓ Determinar el factor de seguridad en base a las fuerzas actuantes y dar a conocer si el talud es estable o inestable.
- ✓ Determinar el SMR y establecer medidas de estabilidad.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El análisis pseudoestático determinó que el talud ubicado en el Km 130+250 - Km 130+450, San Juan-Cajamarca, es sísmicamente inestable.

1.4.2. Hipótesis específicas

- ✓ Las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y suelos del talud ubicado en el Km 130+250-Km 130+450, San Juan-Cajamarca, influye en su inestabilidad.
- ✓ El tipo de roca presentará una calidad moderada producto de los agentes internos y externos.
- ✓ El tipo de rotura que se producirá será es de tipo planar, por el tipo grado de fracturamiento, orientación y distribución de las discontinuidades.
- ✓ El talud presenta un factor de seguridad ≤ 1 , por el tipo de litología y discontinuidades presentes en la zona.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según el propósito el tipo de esta investigación es aplicada, con un nivel explicativo, con un enfoque cuantitativo y con un diseño no experimental. (Oblitas, 2018)

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

- ✓ La población es todos los depósitos cuaternarios y macizos rocosos el talud ubicado en el Km 130+250-Km 130+450, San Juan-Cajamarca.
- ✓ La muestra son las estaciones de muestreo de los depósitos no consolidados y del macizo rocoso del talud ubicado en el Km 130+250-Km 130+450, San Juan-Cajamarca.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas

- Observación

Los instrumentos a emplear serán la ficha de observación y libreta de campo.

- Análisis documental

Los instrumentos a emplear será la ficha de registro de datos.

Instrumentos

cámara fotográfica, protactor-Escala 1/5000, brújula Brunton Azimutal, GPS Navegatorio Garmin Mal 60 Cx, fluxómetro (50m) y Fluxómetro (5m), picota geológica, lápiz de dureza Carbide (Rayador), bolsas de muestreo, lapiceros y lápices, mapa topográfico, geológico e imagen satelital y laptop.

Análisis de datos

El análisis e interpretación de datos será realizado en gabinete mediante el uso de los siguientes softwares: ArcGis 10.3, Slide v7.0, RocData v5.0, Dips v6.0 y Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint).

2.4. Procedimiento

Etapas de Gabinete

Esta etapa consistió en la recopilación de información como: búsqueda bibliográfica, investigaciones, tesis y estudios relacionados con la inestabilidad de taludes, asociados a factores detonantes como la sismicidad y precipitación.

A continuación se cita las teorías utilizadas para la determinación de la estabilidad del talud en estudio.

Resistencia cortante del suelo

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. (González, 2002)

Ensayo de Corte Directo

El ensayo más común para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos es el ensayo de Corte Directo, el cual es simple y económico de realizar. Las ventajas de los ensayos de Corte Directo son su facilidad de ejecución, la cual permite la realización de una cantidad grande de pruebas en poco tiempo y la posibilidad de realizar ensayos sobre superficies de discontinuidad. (Suárez, 2009)

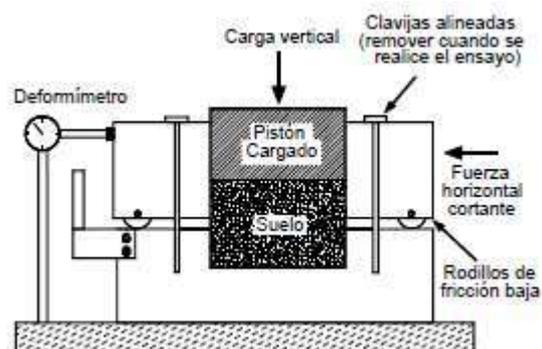


Figura 1. Detalle de la caja de ensayo de corte.

Realizando varias pruebas puede obtenerse una gráfica $\sigma - \tau$, relacionando los esfuerzos normales σ aplicados y los máximos esfuerzos tangenciales τ generados.

Círculo de Mohr

El diagrama de Mohr es el método más común para representar los resultados de los ensayos de corte en los suelos.

Mohr afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante.

Desarrolla junto a Coulomb la ecuación siguiente.

$$\tau = \sigma \tan \phi + c \quad \text{Ecuación(1)}$$

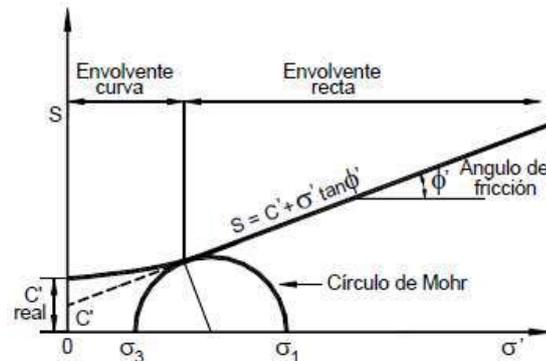


Figura 2. Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en el espacio de tensiones normal y tangencial.

El ángulo de inclinación ϕ viene a ser el ángulo de fricción del suelo; mientras que, el punto de intersección entre la línea inclinada y el eje vertical es la cohesión c .

Equilibrio Límite y Factor de Seguridad

Un análisis de límite de equilibrio consiste en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura.

Los métodos de equilibrio límite son los más utilizados para analizar el equilibrio de una masa inestable. (González, 2002)

El factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla. (Suárez, 2009)

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. (Suárez, 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, Construcción y Saneamiento, 2016)



Figura 3. Zonas sísmicas del Perú. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

Coefficiente de sismicidad

Para esta investigación 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 1
Coordenadas geográficas del Talud EL Naranjo.

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	770750	9194350
V2	771200	9194350
V3	771200	9193900
V4	770750	9193900

$$Q = -Exp(-TO/TR) \quad \text{Ecuación(2)}$$

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

Etapa de Campo

La segunda etapa comprendió en realizar un cartografiado geológico, una descripción geomorfológica y una caracterización de suelo y roca. Logrando un análisis comparativo y descriptivo, permitiendo definir las condiciones geotécnicas.

Asimismo se realizó muestreos en puntos críticos de zona de estudio. Específicamente se tomó 3 muestras de suelo mediante la elaboración de calicatas y 1 muestra de roca mediante el uso de una comba y un cincel.

Etapa de laboratorio

La tercera etapa consistió en analizar las muestras tomadas en campo en el laboratorio, para hallar los parámetros físicos y geomecánicos de las muestras de suelo y roca.

Para los suelos se realizó Analisis Granulometrico (AASHTO T-27 ASTM D 422), Límites de Consistencia (AASHTO T-90 ASTM D 4318) y Corte Directo (ASTM D 3080).

Para la roca se realizó un ensayo de resistencia a la comprensión.

Etapas Final de Gabinete

Con la información obtenida en las etapas anteriores, se procedió a analizar, procesar e interpretar. Se utilizaron softwares como: ArcGis 10.3, Slide V6, Global Mapper 14, DIPS V6, RocData V5; con los cuales se logró obtener los mapas temáticos y resultados finales. Finalmente se culminó con la elaboración de la tesis.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 ASPECTOS GENERALES

3.1.1 UBICACIÓN

Geográfica

Geográficamente la zona de estudio se encuentra en la cordillera occidental de los andes en el norte del Perú, al SW de la ciudad de Cajamarca, entre el Km 130+250 y Km 130+450 de la Carretera Cajamarca-Ciudad de Dios, en el distrito de San Juan. Con coordenadas UTM: DATUM WGS84, ZONA – 17S.

Política

Políticamente se encuentra en:

- ✓ Región: Cajamarca
- ✓ Provincia: Cajamarca
- ✓ Distrito: San Juan

Las coordenadas de los vértices de la zona de estudio se especifican en la siguiente Tabla.

Tabla 2

Coordenadas UTM-WGS84 de los vértices de la zona de estudio.

VÉRTICE	ESTE	NORTE
V1	770650	9194500
V2	771350	9194500
V3	771350	9193750
V4	770650	9193750

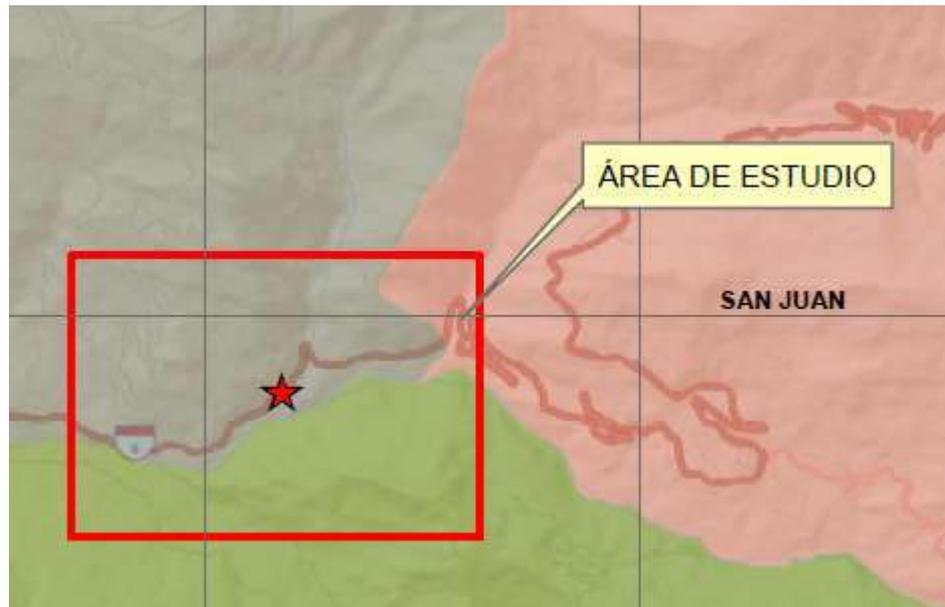


Figura 4. Ubicación de la zona de estudio.

3.1.2 ACCECIBILIDAD

El acceso a la zona de estudio se realiza desde la ciudad de Cajamarca, en el paradero a la costa, ubicado en la Av. Independencia; con un tiempo aproximadamente de 55 minutos en auto mediante una vía asfaltada.

Tabla 3
Ruta a la zona de estudio.

RUTA TERRESTRE	DISTANCIA(Km)	TIEMPO (Min.)	VÍA
Lima -Cajamarca	859	720	Asfaltada
Cajamarca-Zona de estudio	43	55	Asfaltada



Figura 5. Accesibilidad a la zona de estudio.

3.1.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima de la zona de estudio está clasificado como templado y húmedo, con una estación de lluvias y una estación seca bien definidas. El período entre octubre y abril recibe la mayoría de las precipitaciones, mientras que el período comprendido entre mayo y Setiembre es la estación seca (SENAMHI, 2016). La cobertura vegetal está caracterizada por matorrales y sembríos antrópicos.

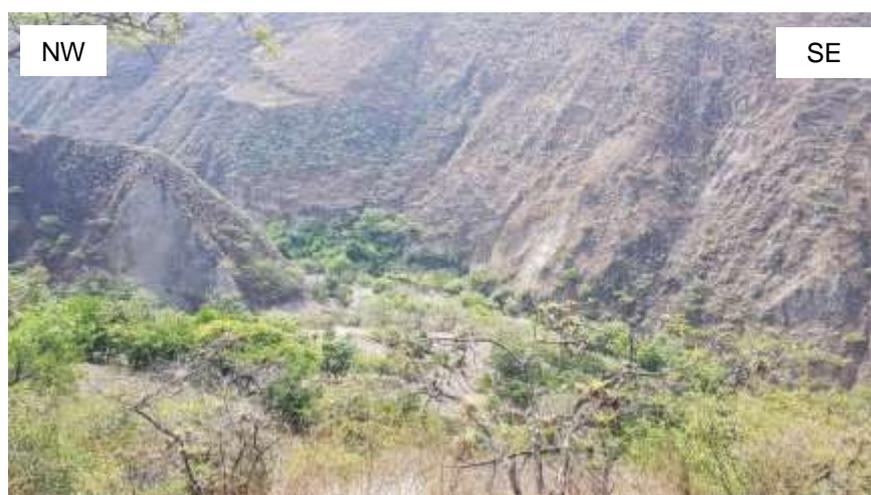


Figura 6. Vegetación de la zona de estudio.

3.2 GEOLOGÍA

Las unidades geológicas fueron cartografiadas tomando como base los estándares del INGEMMET.

3.2.1 GEOMORFOLOGÍA

Geomorfológicamente la zona de estudio presenta las siguientes unidades:

Lomadas

Terreno con elevaciones de bajo ángulo y pendientes suaves ya que está comprendida entre los 8° a 20°.



Figura 7. Lomada al margen derecho del talud.

Planicies

Se encuentran a los costados del Río Magdalena relacionadas con los depósitos aluviales y fluvio-aluviales, La pendiente está comprendida entre 0° a 8° y su utilización es para ganadería y agricultura.



Figura 8. Planicie formada al margen del Río Magdalena.

Laderas

Son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, relativamente inclinados y heterogéneos, con pendientes comprendidas entre 25° a 50° , compuesto por depósitos coluvio-aluvial y como basamento formado por la Formación Pariatambo.



Figura 9. Zona de laderas a lo largo del Río Magdalena.

3.2.2 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía local está constituida por unidades sedimentarias del Cretácico Inferior y superior como son la Formación Pariatambo, la Formación Yumagual, Quilquiñan Mujarrúm y Cajamarca. Además encontramos unidades no consolidadas del Cuaternario-Holoceno constituidos por depósitos coluvio-aluvial, deluviales y depósitos fluviales.

También se ha identificado rocas ígneas de composición andesítica que intruyen concordantemente (Diques) a rocas calcáreas del Cretácico inferior (Fm. Pariatambo).

Formación Pariatambo (Ki-pa)

Aflora al NW y SE de la zona de estudio, infrayaciendo a la Formación Yumagual. Está formada por calizas bituminosas negruzcas, intercaladas con lutitas calcáreas, los macizos rocosos se encuentran fuertemente disturbados por las fallas locales apreciables en los cortes de carretera.



Figura 10. Formación Pariatambo, se muestran estratos finos de calizas bituminosas fuertemente disturbadas.

Formación Yumagual (Ks-yu)

Aflora al SW de la zona de estudio, sobreyaciendo a la Formación Pariatambo. Consiste en una secuencia de margas y calizas gris parduzcas las cuales están altamente meteorizadas, en las cuales destaca un miembro medio lutáceo margoso, amarillento.



Figura 11. Formación Yumagual, compuesto por calizas de color amarillentas intercaladas con lutitas de estratos delgados.

Formación Quilquiñan Mujarrúm (Ks-qm)

Aflora al SE de la zona de estudio. Consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas (miembro Choro), seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas con abundantes elementos del género *Exogyra* (miembro Culebra). Continúan delgados lechos de calizas nodulares con margas pardo-amarillentas también fosilíferas (formación Romirón). Finalmente, bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas con abundantes fósiles (formación Coñor).



Figura 12. Secuencia de calizas masivas de la Fm. Quilquiñan Mujarrún. Se evidencia fósil del género *Exogyra* del Miembro Culebra.

Formación Cajamarca (Ks-ca)

Aflora al SE de la zona de estudio, sobreyaciendo a la Formación Quilquiñan Mujarrún. Consiste generalmente de calizas gris oscuras o azuladas y macizas, con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores. Las primeras se presentan en gruesos bancos con escasos fósiles, a diferencia de las segundas que sí contienen fósiles.



Figura 13. Formación Cajamarca, se aprecia calizas oscuras y azuladas con delgados lechos de lutitas.

Diques

En la zona se hallan afloramientos de diques de composición andesítica, que han intruido capas de rocas sedimentarias, en la Formaciones Pariatambo. Las andesitas se encuentran muy meteorizadas, de estructura porfírica, constituidas por plagioclasas, bajo contenido de cuarzo y hornblendas.



Figura 14. Dique intruido en la Fm. Pariatambo.

3.2.3 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Depósito Coluvio-Aluvial (Qh-co/al)

Se encuentran conformando gran parte de la zona de estudio. Estos depósitos se originaron por deslizamientos en los que el agua fue el factor desencadenante principal, generando una mezcla de materiales de poco transporte y están conformados por materiales angulosos a sub-angulosos, mal gradados, redondeados a sub-redondeados bien gradados y finos limoarcillosos.

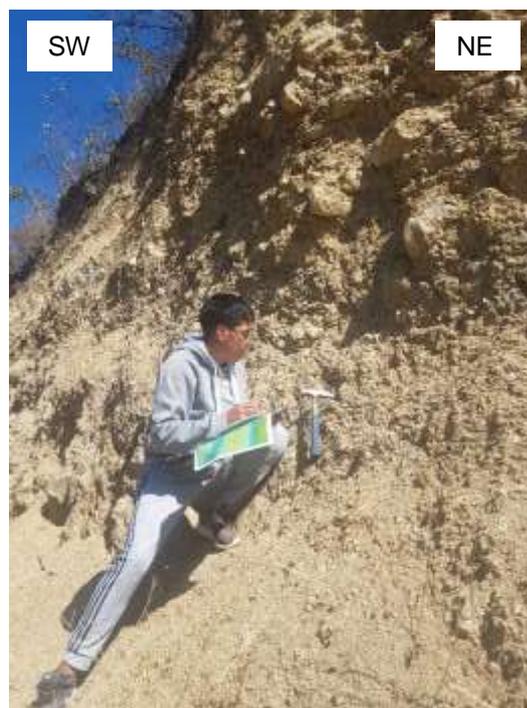


Figura 15. Depósitos coluvio-aluviales compuestos por arcillas y limos de alta plasticidad.

Depósitos Deluviales (Qh-de)

Los depósitos deluviales se presentan en la parte superior del talud y laderas contiguas, conformado por materiales erosionados que no han sido transportados, y con presencia de suelos finos-orgánicos en la parte superior de estos depósitos.



Figura 16. Depósitos deluviales ubicados en la parte superior del talud.

Depósitos Fluviales (Qh-fl)

Estos depósitos se hallan en los márgenes de quebradas y ríos, poseen materiales que han sido transportados grandes distancias, su composición puede ser variada, en su mayoría los clastos son redondeados.

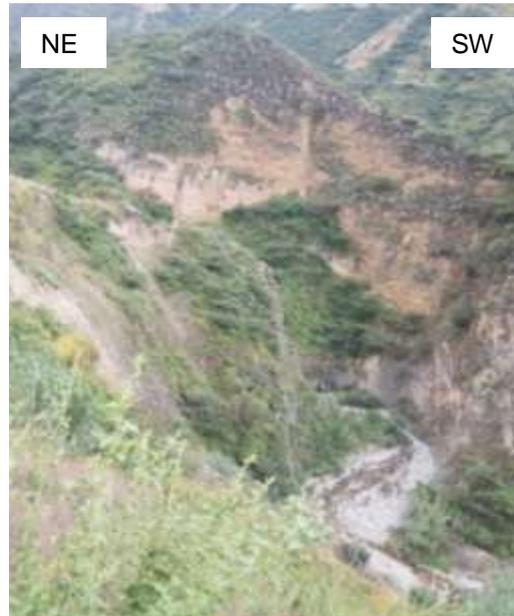


Figura 17. Depósitos fluviales formados en las márgenes del Río Magdalena.

3.2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente el área estudiada ha sido afectada por esfuerzos compresivos de dirección NW – SE, que ha generado plegamientos (sinclinal y anticlinal) y posterior fallamiento en el sustrato rocoso. Determinando un sistema de pliegues los que son interrumpidos en su continuidad por una falla regional de dirección NW-SE y la presencia de fallas locales con diferente cinemática, además de estructuras planas como son las discontinuidades.



Figura 18. Sinclinal y anticlinal ubicado al de la zona de estudio.

Producto del deslizamiento se ha producido plegamientos por eventos no tectónicos debido a la compensación del material rocoso, evidenciándose plegamientos en la zona.



Figura 19. Plegamientos de calizas de la Fm. Pariatambo, debido a la compensación de materiales producto del deslizamiento.

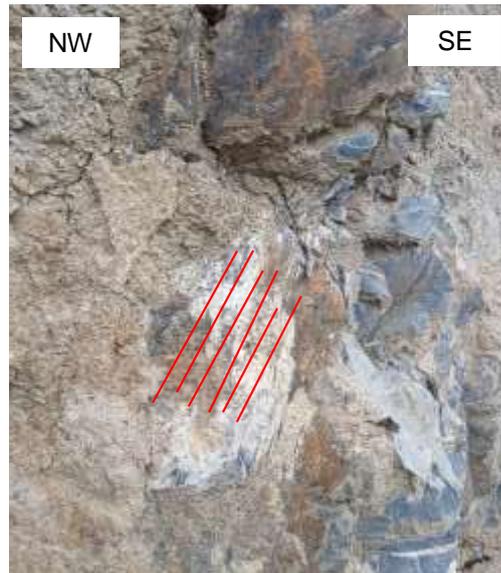


Figura 20. Estrías de falla.

Análisis cinemático de falla

Según la estación microtectónica se realizó el análisis cinemático de fallas en planos de falla que presentan estrías, determinando un movimiento Normal-Sinistral, según la siguiente data:

Tabla 4
Data de la estación microtectónica.

	Fault str	Dip	Striae trd	Plunge	Slip	T trend	p/g	P trend	p/g
3	007	40	014	06	NL	225	28	339	38
3	011	42	019	07	NL	231	26	343	38
4	005	49	010	06	NL	226	23	331	33
4	010	46	017	07	NL	230	24	339	35
5	004	45	011	07	NL	224	24	333	36

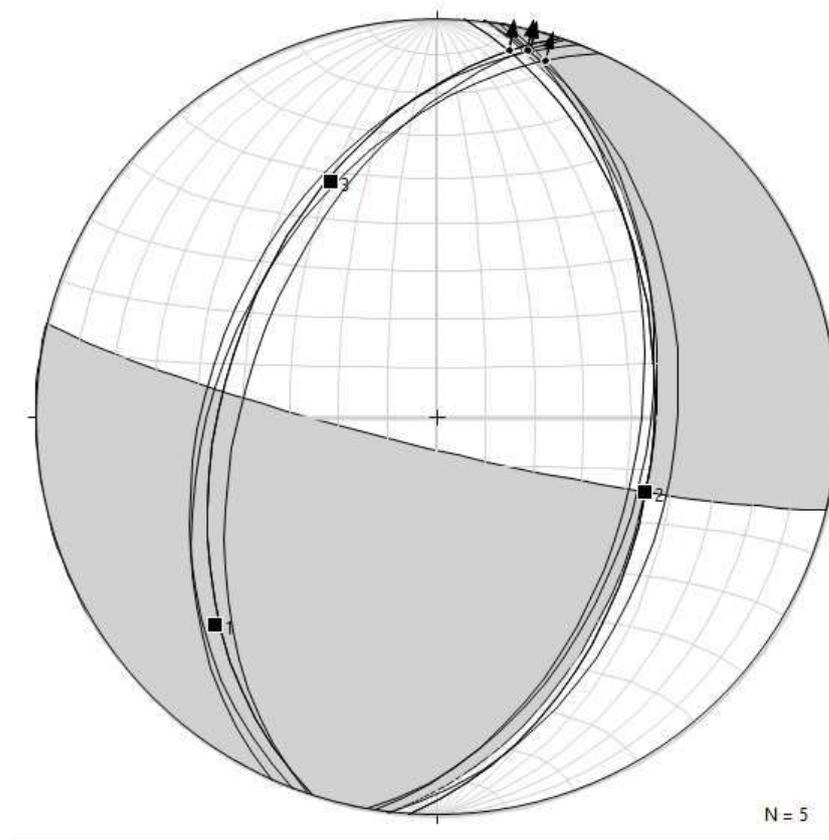


Figura 21. Análisis estereográfico de paleoesfuerzos en el software Faultkin que generaron la falla Normal Sinistral con esfuerzo compresivo.

Tabla 5
 Paleoesfuerzos de la falla presente en la zona de estudio.

ESFUERZOS PRINCIPALES			
Eje	Tipo de esfuerzo	Trend	Plunge
1	Extensivo	226.5	24.9
2	Intermedio	109.9	44.0
3	Compresivo	336.0	35.7

3.3 HIDROLOGÍA

El análisis hidrológico es uno de los trabajos previos más importantes en el análisis de estabilidad de taludes. La interpretación más frecuente del efecto del agua es que las lluvias por infiltración, saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual a su vez, puede activar un deslizamiento

Es un factor determinante en el análisis de estabilidad del talud. Para comprender los efectos de las lluvias se obtuvo la data de precipitaciones entre el año 2015 y 2019 de la Estación Meteorológica (Estación: MAGDALENA), ubicada por el SENAMHI en el distrito de Magdalena, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 6
*Precipitaciones entre el año 2015 al 2019 de la Estación Meteorológica
MAGDALENA-SENAMHI.*

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	53.3	84.9	106.6	47.0	14.1	3.3	0.8	1.0	8.7	23.4	21.8	38.6
2016	62.5	72.1	128.2	61.8	15.9	2.8	0.6	0.9	5.8	19.6	23.4	35.4
2017	66.9	65.3	264.9	55.7	10.0	1.2	0.1	3.3	2.4	31.7	7.8	42.5
2018	50.81	91.5	95.9	43.1	39.9	4.1	0.3	1.8	2.8	24.5	41.1	65.8
2019	23.4	182.5	126.3	50.3	10	0.2	1.4	1.1				

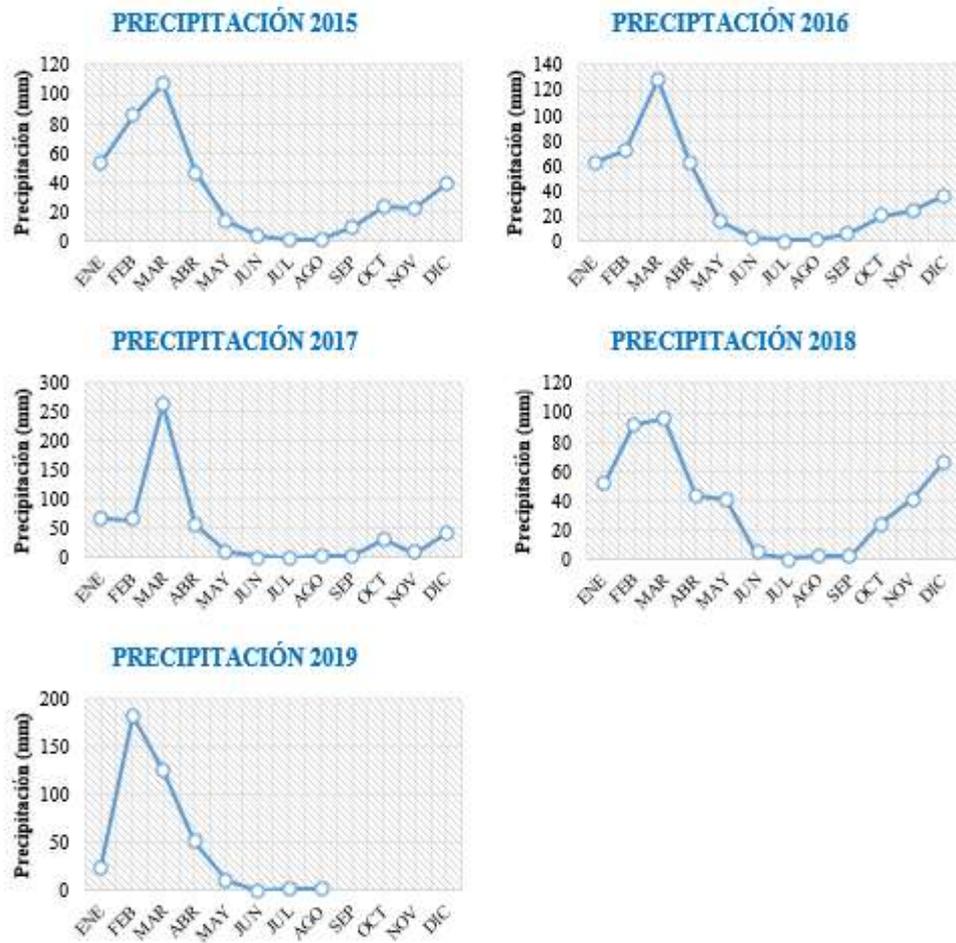


Figura 22. Precipitaciones de la zona de estudio del 2015 al 2019.

3.4 GEOTECNIA

El desarrollo geotécnico que se ha analizado se ha hecho por zonas críticas, dentro de los cuales se analizan y definen el comportamiento geológico - geotécnico, que van en función de las variables identificadas por sus condiciones geotécnicas. Para luego obtener el factor de seguridad, mediante el análisis de estabilidad, realizado con el software Slide v7.0.

La zona presenta grietas de tensión, lo que evidencia la inestabilidad del terreno.



Figura 23. Hundimiento en la carretera del talud.



Figura 24. Grietas en la parte superior del talud.

3.4.1 ESTACIONES DE CONTROL GEOTÉCNICO

Se evaluó en campo el tipo de depósito cuaternario donde se puede producir el deslizamiento, es por eso que se tomaron 3 estaciones de control geotécnico para realizar la descripción en campo y obtener los materiales para ensayos de laboratorio, los cuales serían granulometría, límites de consistencia y corte directo.

Las estaciones para el control geotécnico, se ha realizado en zonas críticas del talud.

Estación N° 01

Se observó un depósito tipo coluvio-aluvial, compuesto de 12% de grava, 43% arena y 45% de finos aproximadamente.

Las coordenadas donde se sacó la muestra se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7

Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 01.

COORDENADAS UTM-WGS84	
ESTE	770837
NORTE	9194107
COTA	1788 m

En la figura 22, se muestra la calicata donde se realizó el muestreo, para realizar los ensayos de laboratorio y determinar su comportamiento, la clasificación SUCS y los límites de consistencia.

A continuación, se detallan los resultados de laboratorio:



Figura 25. Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°01 del Talud.

Análisis mecánico por tamizado

El análisis de tamizado consistió en agitar los tamices con la muestra de suelo, para obtener los pesos y porcentajes que pasan según las aberturas de los respectivos tamices.

Los resultados del análisis mecánico por tamizado de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 01 se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8
Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 01.

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
11 ½"	38.100				100.0
1"	25.400	5.3	0.3	0.3	99.7
1/2"	12.700	21.6	1.2	1.5	98.5
3/8"	9.525	16.3	0.9	2.4	97.6
4	4.760	22.3	1.2	3.6	96.4
10	2.000	24.6	1.4	5.0	95.0
20	0.840	49.2	2.7	7.7	92.3
30	0.590	52.3	2.9	10.6	89.4
40	0.420	60.9	3.4	14.0	86.0
80	0.177	190.6	10.6	24.6	75.4
100	0.149	73.5	4.1	28.7	71.3
200	0.074	69.0	3.8	32.5	67.5
pasa		1.214,4	67.5		

Lo que se observa en la Tabla 8, es que el 67.5% de la muestra pasa el tamiz N°200 por lo tanto la muestra sería clasificada como un suelo de grano fino.

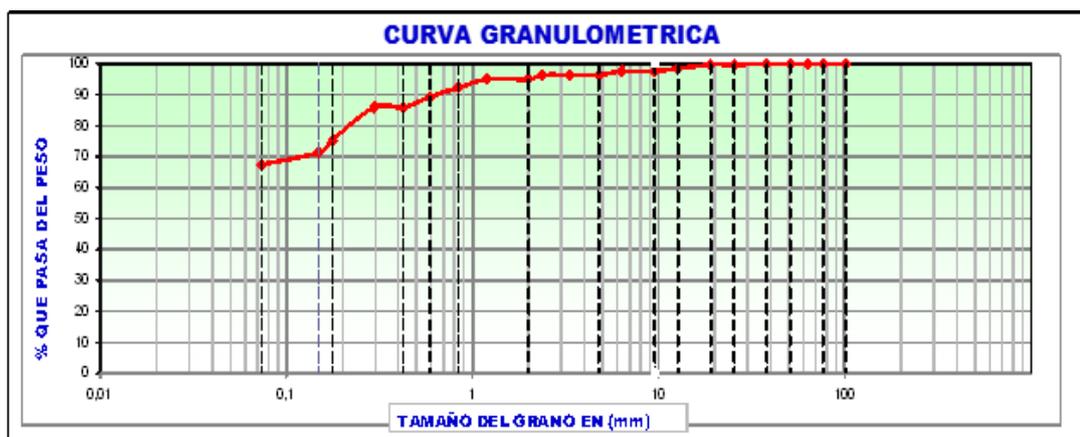


Figura 26. Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 01.

Según la curva granulométrica nos está indicando que tenemos materiales desde muy gruesos hasta finos, por lo tanto, hay todo tipo de material que demuestra que es un coluvio-aluvial porque se tiene gravas, arenas y finos, llegando a la conclusión que el tipo de suelo que se tiene en la Estación N°01 es variable.

Límites de consistencia

Se obtuvieron los límites de consistencia (líquido, plástico) y el índice plástico, cuyos resultados se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9

Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 01.

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Límite líquido	48.92 %
Límite plástico	25.63 %
Índice plástico	23.29 %

Clasificación de la muestra en la Estación N° 01

Con los resultados obtenidos en laboratorio lo clasificamos como suelo CL, porque según el análisis mecánico por tamizado es un suelo de grano fino, específicamente con 65.7% de finos entre limos y arcillas. Con un límite líquido de 48.92% y con índice plástico de 23.29% y en la tabla de clasificación según (Braja, 2001) cuando el límite líquido es menor a 50 y el $PI > 7$, corresponde a un CL.

Tabla 10
Clasificación de Suelos de la Estación N° 01.

Criterio para la asignación de símbolo de grupo			Símbolo del grupo	
Suelos de grano fino. 50% o más pasa a través del tamiz N°200	Limos y arcillas. Límite líquido menor que 50.	Inorgánico	$PI > 7$ y gráfico en o por encima de la línea "A".	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A"	ML
		Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido secado}}{\text{Límite líquido no secado}} \leq 0.75$	OL
			zona OL	

Fuente: (Braja, 2001)

Estación N° 02

Se observó un depósito tipo coluvio-aluvial, compuesto de 15% de grava, 25% arena y 60% de finos aproximadamente.

Las coordenadas donde se sacó la muestra se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11

Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 02.

COORDENADAS UTM-WGS84	
ESTE	770884
NORTE	9194167
COTA	1822 m

En la figura 24, se muestra la calicata donde se realizó el muestreo, para realizar los ensayos de laboratorio y determinar su comportamiento, la clasificación SUCS y los límites de consistencia.

A continuación, se detallan los resultados de laboratorio:



Figura 27. Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°02 del Talud.

Análisis mecánico por tamizado

El análisis de tamizado consistió en agitar los tamices con la muestra de suelo, para obtener los pesos y porcentajes que pasan según las aberturas de los respectivos tamices.

Los resultados del análisis mecánico por tamizado de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 02 se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 02.

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.400				100.0
1/2"	12.700	19.6	1.2	1.2	98.8
3/8"	9.525	11.5	0.7	1.9	98.1
4	4.760	27.2	1.7	3.6	96.4
10	2.000	31.6	2.0	5.6	94.4
20	0.840	38.5	2.4	8.0	92.0
30	0.590	51.6	3.2	11.3	88.8
40	0.420	65.1	4.1	15.3	84.7
80	0.177	222.9	13.9	29.3	70.8
100	0.149	59.3	3.7	33.0	67.0
200	0.074	64.8	4.1	37.0	63.0
pasa		1.007,9	63.0		

Lo que se observa en la Tabla 12, es que el 63% de la muestra pasa el tamiz N° 200 por lo tanto la muestra sería clasificada como un suelo de grano fino.

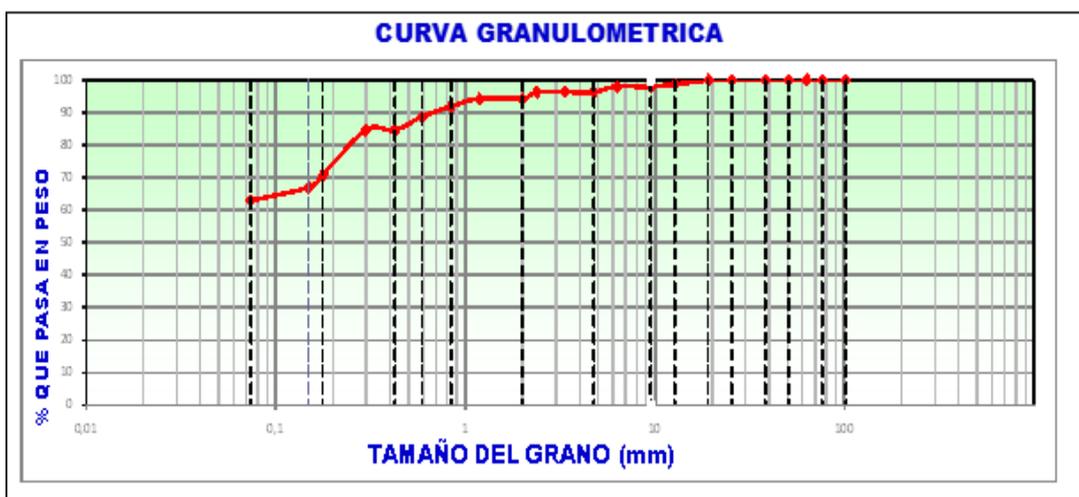


Figura 28. Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 02.

Según la curva granulométrica nos está indicando que tenemos materiales desde muy gruesos hasta finos, por lo tanto, hay todo tipo de material que demuestra que es un coluvio-aluvial porque se tiene gravas, arenas y finos, llegando a la conclusión que el tipo de suelo que se tiene en la Estación N°02 es variable.

Límites de consistencia

Se obtuvieron los límites de consistencia (líquido, plástico) y el índice plástico, cuyos resultados se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13

Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 02.

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Limite liquido	47.81 %
Limite plástico	26.12 %
Índice plástico	21.69 %

Clasificación de la muestra en la Estación N° 02

Con los resultados obtenidos en laboratorio lo clasificamos como suelo CL, porque según el análisis mecánico por tamizado es un suelo de grano fino, específicamente CON 63% de finos entre limos y arcillas. Con un límite líquido de 47.81% y con índice plástico de 21.69% y en la tabla de clasificación según Braja M., (2013) cuando el límite líquido es menor a 50 y el $PI > 7$, corresponde a un CL.

Tabla 14
Clasificación de Suelos de la Estación N° 01.

Criterio para la asignación de símbolo de grupo			Símbolo del grupo
Suelos de grano fino.	Limos y arcillas.	Inorgánico	PI>7 y gráfico en o por encima de la línea "A". ML
		Orgánico	PI<4 o gráficos por debajo de línea "A" OL
50% o más pasa a través del tamiz N°200	Límite líquido menor que 50.		$\frac{\text{Límite líquido secado}}{\text{Límite líquido no secado}} \leq 0.75$
			zona OL

Fuente: (Braja, 2001)

Estación N° 03

Se observó un depósito tipo coluvio-aluvial, compuesto de 8 % de grava, 27% arena 65 % de finos aproximadamente.

Las coordenadas donde se sacó la muestra se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15
Coordenadas UTM-WGS84 de la Estación Geomecánica N° 03.

COORDENADAS UTM-WGS84	
ESTE	770877
NORTE	9194015
COTA	1747 m

En la figura 26, se muestra la calicata donde se realizó el muestreo, para realizar los ensayos de laboratorio y determinar su comportamiento, la clasificación SUCS y los límites de consistencia.

A continuación, se detallan los resultados de laboratorio:



Figura 29. Muestra de suelo de la Estación de control geotécnico N°03 del Talud.

Análisis mecánico por tamizado

El análisis de tamizado consistió en agitar los tamices con la muestra de suelo, para obtener los pesos y porcentajes que pasan según las aberturas de los respectivos tamices.

Los resultados del análisis mecánico por tamizado de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 03 se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16
Análisis mecánico por tamizado de la Estación N° 03.

Tamices ASTM	Abertura en mm	Peso retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1/4"	6.350				100.0
4	4.760	26.7	1.5	1.5	98.5
10	2.000	18.5	1.0	2.5	97.5
20	0.840	44.2	2.5	5.0	95.0
30	0.590	50.3	2.8	7.8	92.2
40	0.420	66.2	3.7	11.4	88.6
80	0.177	140.7	7.8	22.6	77.4
100	0.149	54.3	3.0	25.6	74.4
200	0.074	72.6	4.0	29.6	70.4
pasa		1.266,5	70.4		

Lo que se observa en la Tabla 16, es que el 70.4% de la muestra pasa el tamiz N° 200 por lo tanto la muestra sería clasificada como un suelo de grano fino.

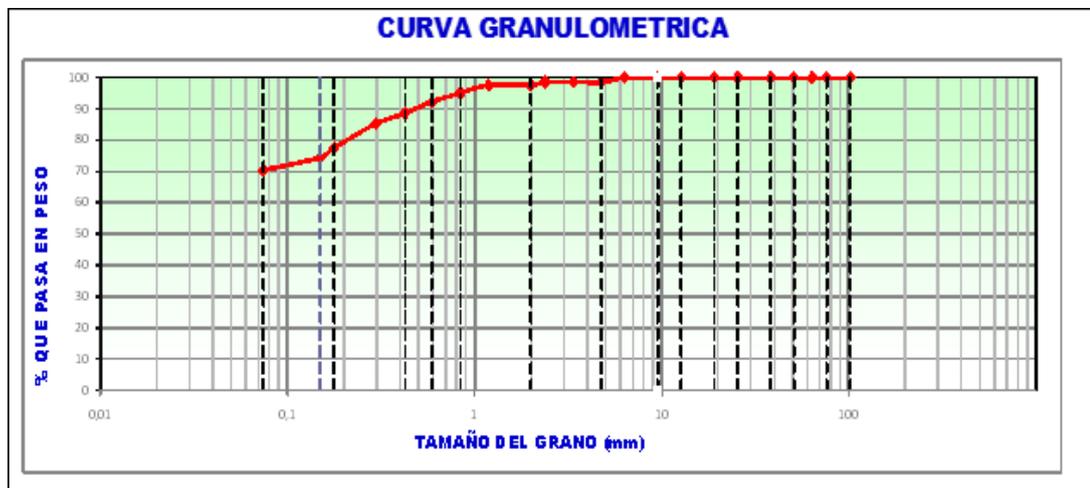


Figura 30. Curva granulométrica de la muestra de suelo tomada en la Estación N° 03.

Según la curva granulométrica nos está indicando que tenemos gran cantidad de materiales finos, por lo tanto, hay todo tipo de material que demuestra que es un coluvio-aluvial porque se tiene gravas, arenas y finos, llegando a la conclusión que el tipo de suelo que se tiene en la Estación N°03 es variable.

Límites de consistencia

Se obtuvieron los límites de consistencia (líquido, plástico) y el índice plástico, cuyos resultados se detallan en la Tabla 17.

Tabla 17

Resultados de los límites de consistencia de la Estación N° 03.

LÍMITES DE CONSISTENCIA	
Límite líquido	43.02 %
Límite plástico	20.43 %
Índice plástico	22.59 %

Clasificación de la muestra en la Estación N° 03

Con los resultados obtenidos en laboratorio lo clasificamos como suelo CL, porque según el análisis mecánico por tamizado es un suelo de grano fino, específicamente con 70% de finos entre limos y arcillas. Con un límite líquido de 43.02% y con índice plástico de 22.59% y en la tabla de clasificación según Braja M., (2013) cuando el límite líquido es menor a 50 y el $PI > 7$, corresponde a un CL.

Tabla 18

Clasificación de Suelos de la Estación N° 03.

Criterio para la asignación de símbolo de grupo			Símbolo del grupo	
Suelos de grano fino. 50% o más pasa a través del tamiz N°200	Limos y arcillas.	Inorgánico	$PI > 7$ y gráfico en o por encima de la línea "A".	CL
			$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A"	ML
	Límite líquido menor que 50.	Orgánico	$\frac{\text{Límite líquido secado}}{\text{Límite líquido no secado}} \leq 0.75$	OL
			zona OL	

Fuente: (Braja, 2001)

3.4.2 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE

Los parámetros geotécnicos fueron obtenidos a través de los resultados de ensayos de corte directo y peso específico proporcionados por Laboratorio.

Tabla 19
Características de la muestra 01 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
Lado o diámetro (cm)	6.2	Humedad (%)	43.11
Altura inicial de la muestra	1.98	Altura final de la muestra	1.87
Área (cm ²)	38.44	Densidad Húmeda final (gr/cm ³)	1.461
Volumen (cm ³)	76.11	Densidad seca final(gr/cm ³)	1.102

Tabla 20
Aplicación de carga a la muestra 01 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

APLICACIONES DE CARGA			
Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0.25		
Carga normal (kg)	5		
Esp. De muestra	I	II	II
Peso de la semi caja superior (kg)	4	8	16
Esfuerzo normal (σ) (kg/ cm ²)	1.00	2.00	4.00
Esfuerzo de corte máximo (σ) (kg/ cm ²)	0.40	0.16	1.19
Ángulo de fricción interna (Φ)	14.10		
Cohesión (kg/ cm²)	0.15		

Tabla 21
Características de la muestra 02 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
Lado o diámetro (cm)	6.92	Humedad (%)	42.54
Altura inicial de la muestra	1.98	Altura final de la muestra	1.85
Área (cm ²)	38.44	Densidad Húmeda final (gr/cm ³)	1.491
Volumen (cm ³)	76.11	Densidad seca final(gr/cm ³)	1.079

Tabla 22

Aplicación de carga a la muestra 02 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

APLICACIONES DE CARGA			
Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0.25		
Carga normal (kg)	5		
Esp. De muestra	I	II	II
Peso de la semi caja superior (kg)	4	8	16
Esfuerzo normal (σ) (kg/ cm ²)	1.00	2.00	4.00
Esfuerzo de corte máximo (σ) (kg/ cm ²)	0.38	0.55	1.05
Ángulo de fricción interna (Φ)	12.20		
Cohesión (kg/ cm²)	0.14		

Tabla 23

Características de la muestra 03 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
Lado o diámetro (cm)	6.2	Humedad (%)	47.37
Altura inicial de la muestra	1.96	Altura final de la muestra	1.81
Área (cm ²)	38.44	Densidad Húmeda final (gr/cm ³)	1.520
Volumen (cm ³)	76.11	Densidad seca final(gr/cm ³)	1.050

Tabla 24

Aplicación de carga a la muestra 03 (CORTE DIRECTO ASTM D 3080).

APLICACIONES DE CARGA			
Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0.25		
Carga normal (kg)	5		
Esp. De muestra	I	II	II
Peso de la semi caja superior (kg)	4	8	16
Esfuerzo normal (σ) (kg/ cm ²)	1.00	2.00	4.00
Esfuerzo de corte máximo (σ) (kg/ cm ²)	0.37	0.62	1.09
Ángulo de fricción interna (Φ)	12.90		
Cohesión (kg/ cm²)	0.13		

Los resultados de estas muestras nos indica que la relación entre el ángulo de fricción y la cohesión son directamente proporcional, cada cambio físico que el suelo depende de estos demostrado cuando puede almacenar el suelo de carga de humedad hasta el tamaño de partículas que puede tener cada uno. Demuestran que el diseño del talud tiene en la parte intermedia que es la muestra 01 gravas con tamaño más grande a diferencia que las halladas dentro de las muestras 02 y 03, produciendo según el diseño un hundimiento visible a simple vista.

3.5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

3.5.1 Cálculo del Factor de Seguridad

A continuación, analizaremos el factor de seguridad para el talud. Para lo cual se analizará dos secciones en condiciones estáticas y pseudoestáticas, las cuales fueron ubicadas en las zonas más críticas del talud. Este análisis consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento.

El procesamiento se realizó con el software Slide v7.0, mediante dos métodos (Spencer y Morgenstern-Price), para esto tendremos en cuenta la clasificación de suelo de las estaciones de control geotécnico y los valores de peso específico, cohesión y ángulos de fricción.

Condiciones Estáticas

Para las secciones 01 y 02, se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción de un tipo de suelo CL, teniendo en consideración las estaciones de control geotécnico.

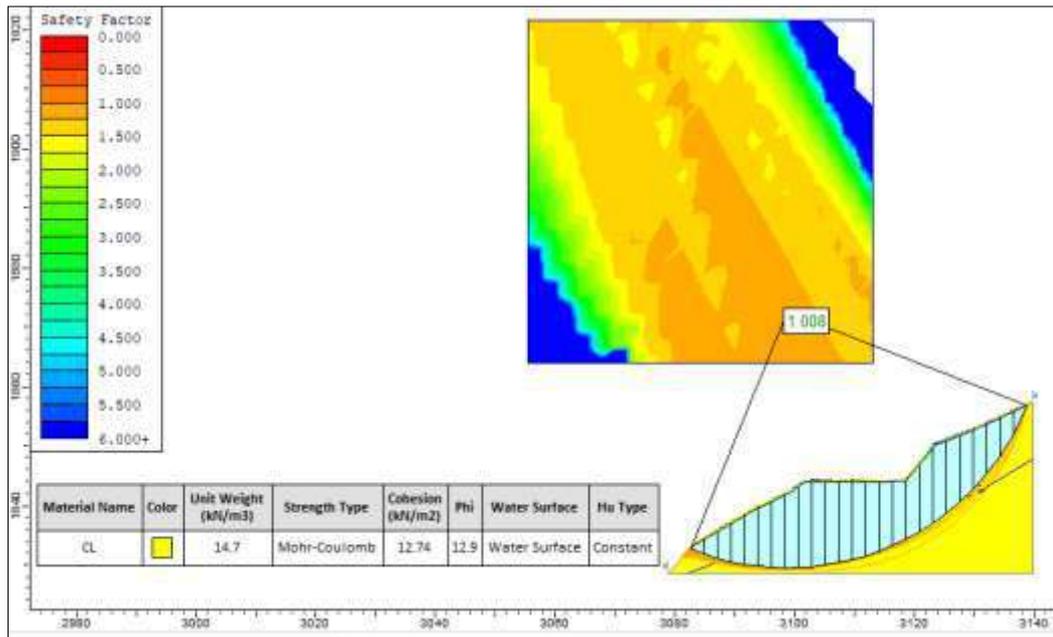


Figura 31. Sección 01 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 1.008, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.

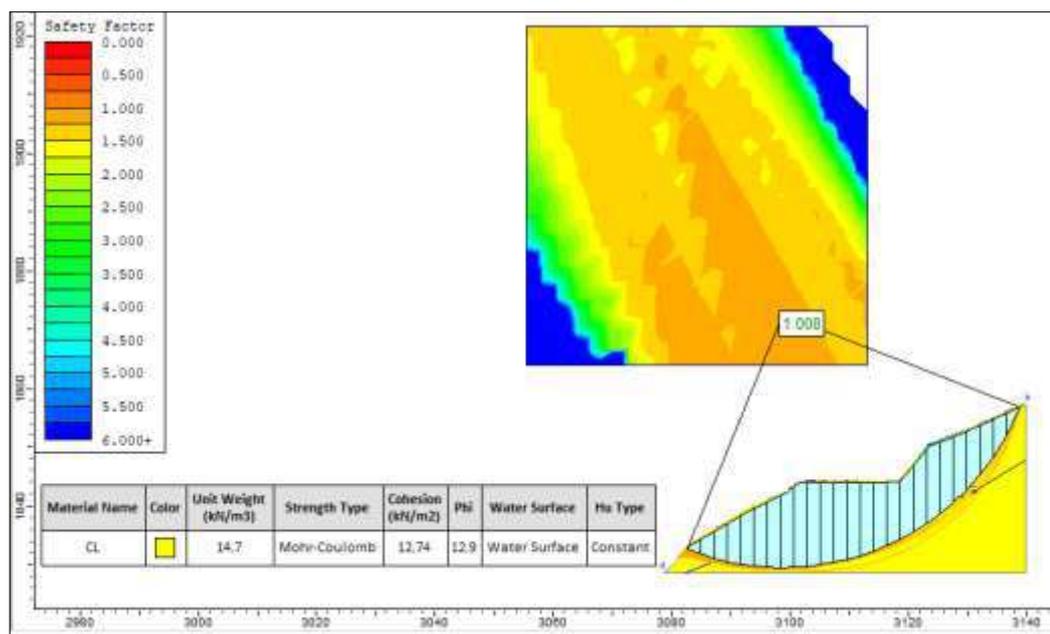


Figura 32. Sección 01 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 1.008, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.

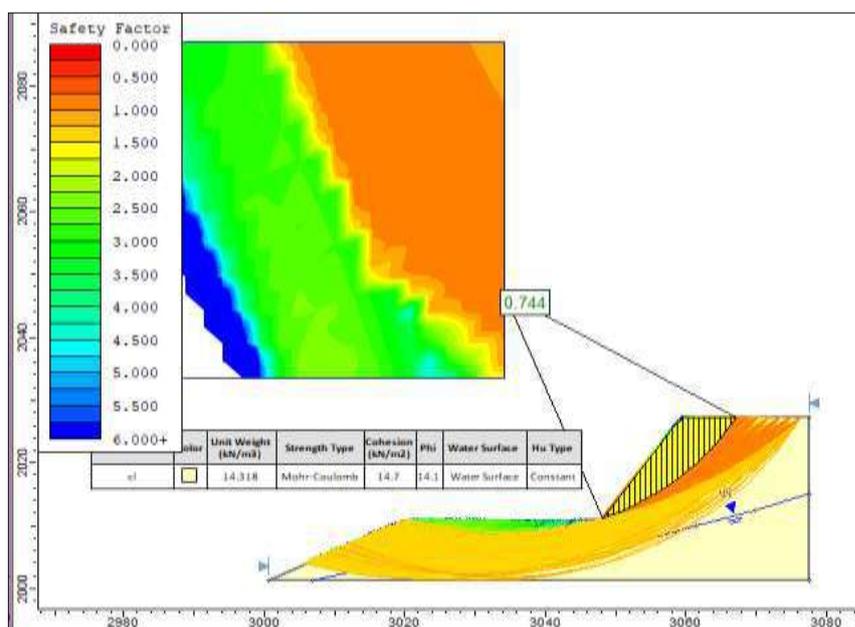


Figura 33. Sección 02 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.744, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.

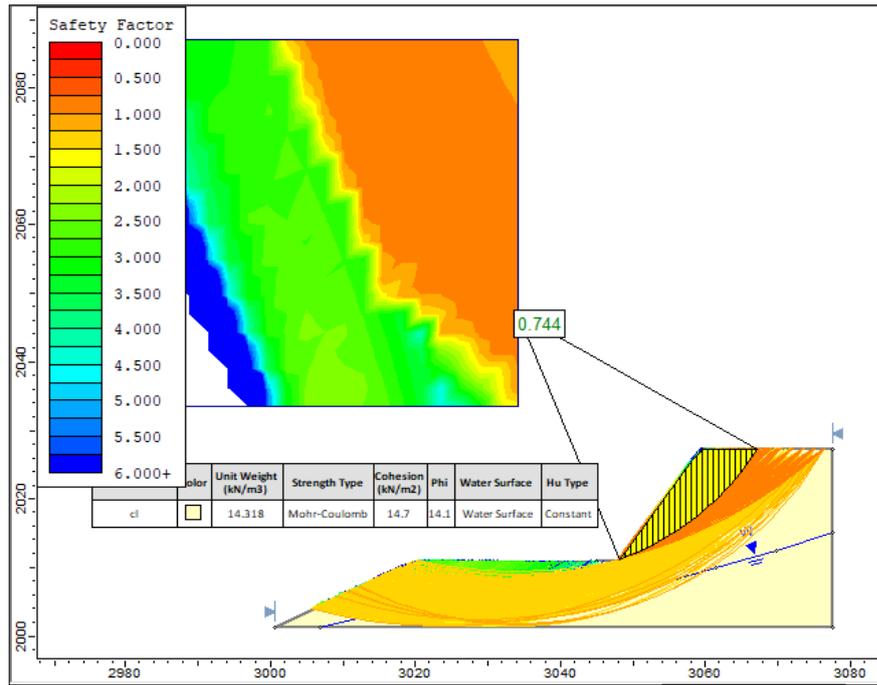


Figura 34. Sección 02 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.744, el cual nos indica que ante cualquier factor desencadenante la zona analizada es inestable.

Condiciones Pseudoestáticas

Para las secciones 01 y 02, se utilizaron los datos de peso específico, cohesión y fricción de un tipo de suelo CL, y un coeficiente de sismicidad de 0.1445, teniendo en consideración las estaciones de control geotécnico.

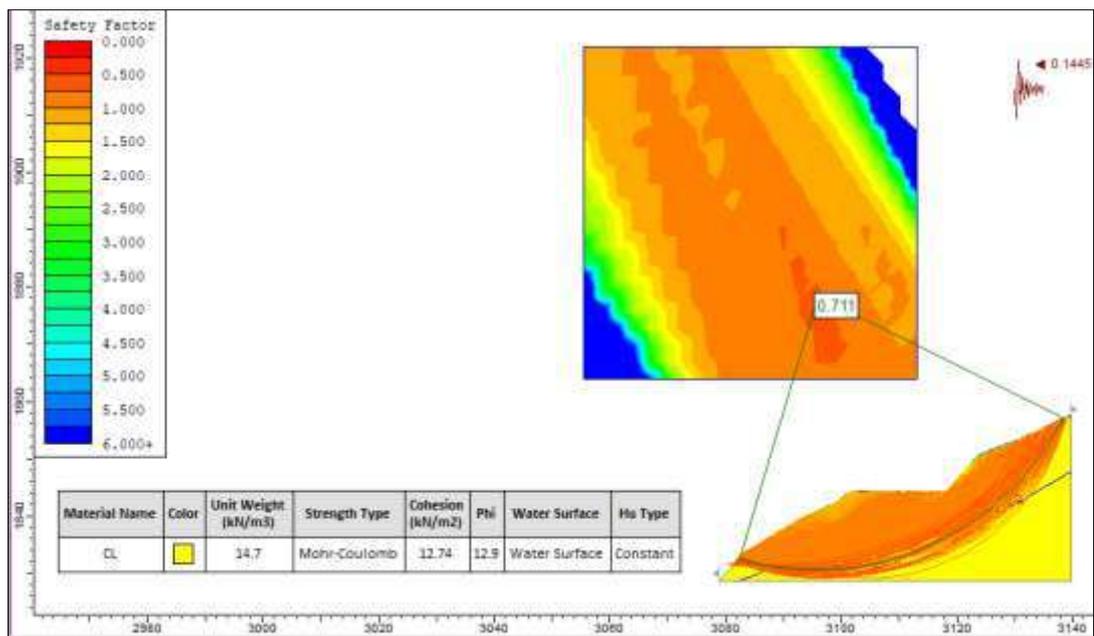


Figura 35. Sección 01 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.711 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.

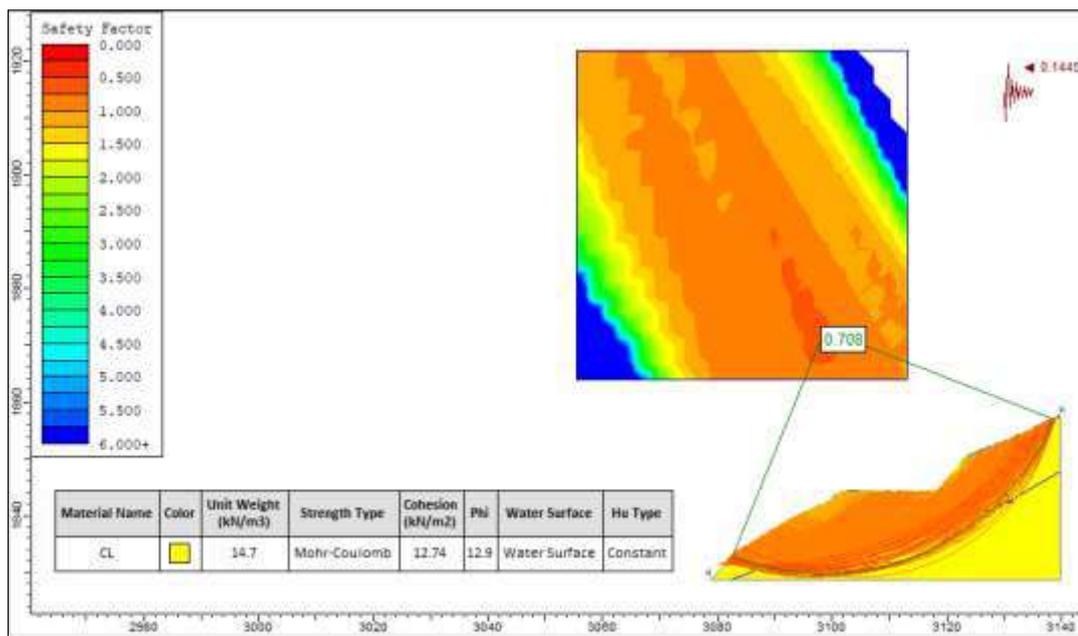


Figura 36. Sección 01 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.708 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.

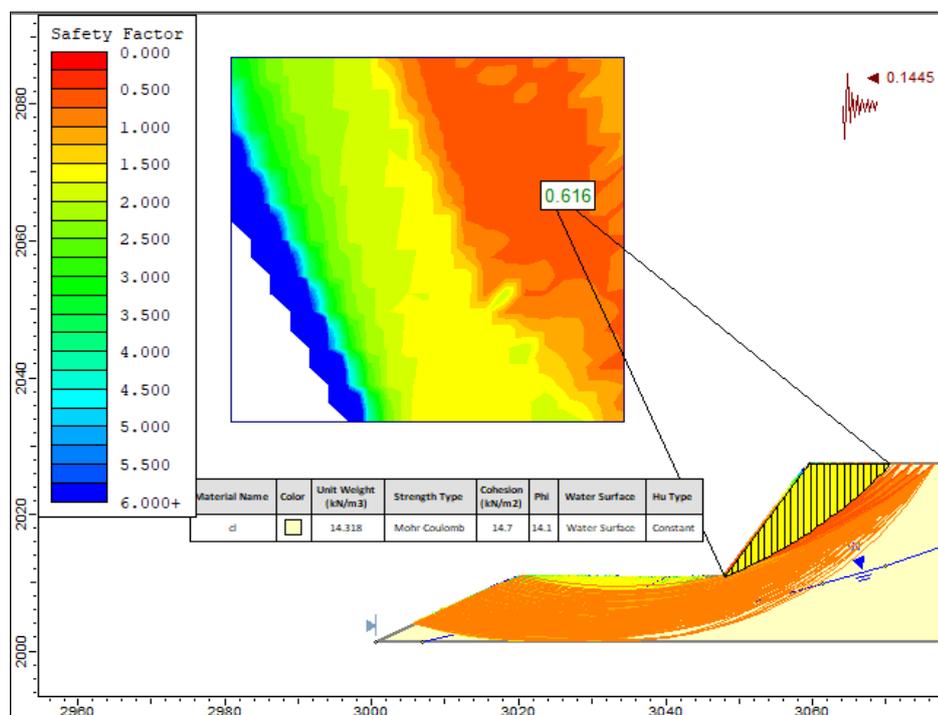


Figura 37. Sección 02 analizada mediante el Método de Spencer. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.616 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.

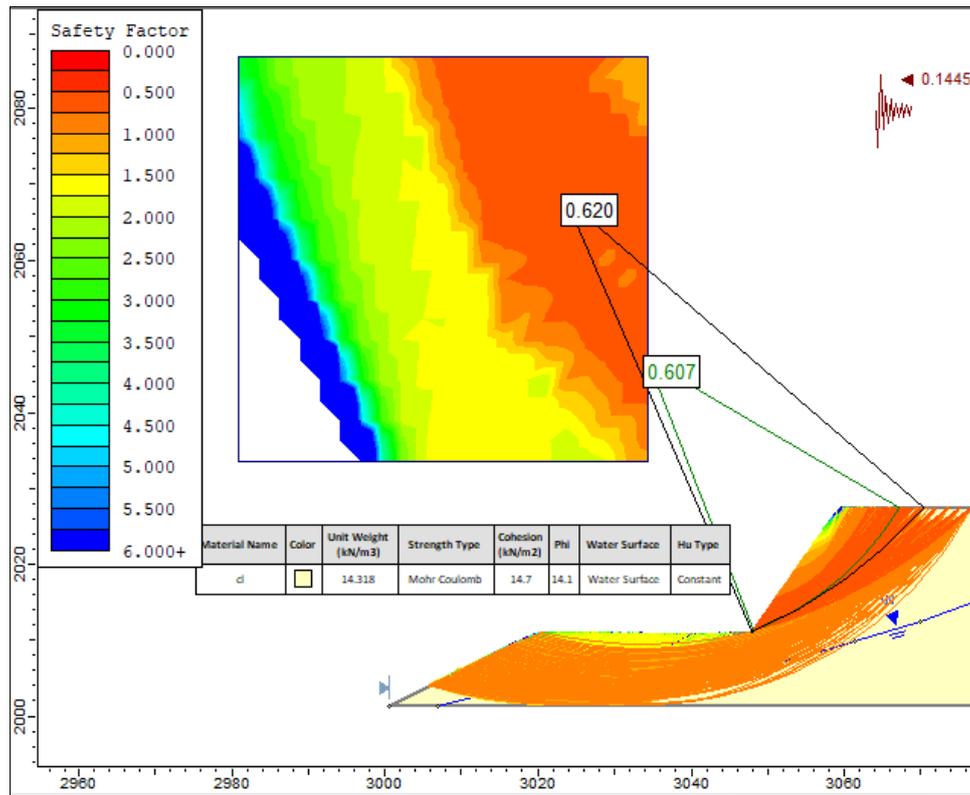


Figura 38. Sección 02 analizada mediante el Método de Morgenstern-Price. Se obtuvo un Factor de Seguridad de 0.620 mediante un coeficiente de sismicidad de 0.1445, el cual nos indica que ante cualquier evento sísmico la zona analizada es inestable.

Tabla 25

Resultado de los factores de seguridad de las secciones 01 y 02.

SECCION	CONDICIÓN	SPENCER	MORGENSTERN-PRICE	PROMEDIO
Sección 01	Estática	1.008	1.008	1.008
	Pseudoestática	0.711	0.708	0.709
Sección 02	Estática	0.744	0.744	0.744
	Pseudoestática	0.616	0.620	0.618

3.6 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

Para la obtención de los parámetros geomecánicos de la formación sedimentaria se utilizó el software RocData v5.0, aplicando el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para rocas.

El talud presenta un macizo rocoso homogéneo, compuesto de calizas bituminosas de la Formación Pariatambo con intercalación de lutitas grises, intruidas por un sill de composición andesítica. El talud tiene una altura de 28 m. y $D/DD = 50^\circ/48^\circ$.

Tabla 26
propiedades Geomecánicas de la Formación Pariatambo. (Software RocData v5.0).

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LA FORMACIÓN PARIATAMBO						
	Datos de Entrada (RocData)			Parámetros de salida		
Sigci (σ)	48 Mpa	MR	800	Criterio	Mb	0.438
GSI	45	Peso U.	0.025 MN/m^3	Hoek-Brown	s	0.0003
Mi	9	Roca	Caliza		a	0.508
D	0.7	Altura del		Mohr- Coulomb	c	0.230 Mpa
Ei	38400 MPa	Talud	28 m		ϕ	43.71°

3.6.1 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL RMR

PARÁMETRO	RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la roca a la compresión simple	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 - 25 Mpa	1 - 5 Mpa	< 1 Mpa
	Puntaje	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50		< 25	
	Puntaje	20	17	13	8		3	
3	Espaciamiento de discontinuidades	>2 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm		<60 mm	
	Puntaje	20	15	10	8		5	
	Longitud de la discontinuidad (persistencia)		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
	Puntaje		6	4	2	1	0	
	Separación (abertura)		Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm	
	Puntaje		6	5	4	1	0	
4	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas	
	Puntaje		6	5	3	1	0	
	Relleno		Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5mm	Blando > 5mm	
	Puntaje		6	4	2	2	0	
	Meteorización		Inalterada	Ligeramente met.	Moderadamente met.	Altamente met.	Descompuesta	
	Puntaje		6	5	3	1	0	
5	Aguas. / Presión de agua por la Esfuerzo principal mayor	0	< 0.1	0.1- 0.2	0.2 - 0.5		> 0.5	
	Condiciones generales	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo		Flujo	
	Puntaje	15	10	7	4		0	

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

$$RMR = 4 + 20 + 15 + 2 + 1 + 1 + 2 + 5 + 10$$

$$RMR = 60$$

Tabla 27

Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN	CHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 – 81	> 4 kg/ cm ²	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 – 4 kg/ cm ²	35° -45°
III	Media	60 - 41	2 – 3 kg/ cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 -2 kg/ cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/ cm ²	< 15°

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

3.6.2 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL SMR

FACTOR DE AJUSTE PARA LAS JUNTAS					
Caso	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
P as - aj	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
T as - aj - 180					
P/T F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P bj	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T F2	1	1	1	1	1
P bj- bs	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (-10°)	< -10°
T bs + bs	< 110°	110° - 120°	> 120°		
P/T F3	0	-6	-25	-50	-50
P rotura plana	as azimut de buzamiento del talud		aj azimut de buzamiento de las discontinuidades		
T rotura por vuelco	bs buzamiento del talud		bj buzamiento de las discontinuidades		
FACTOR DE AJUSTE SEGÚN EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN					
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o mecánico	Voladura deficiente
F4	+ 15	+ 10	+ 8	0	-8

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$= 60 + (0.85 \times 1 \times 0) + 10$$

$$SMR = 70$$

Tabla 28

Medidas de sostenimiento recomendadas para cada clase de estabilidad según el SMR.

MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO RECOMENDADAS PARA CADA CLASE DE ESTABILIDAD		
Clase	SMR	Soporte
I a	91 – 100	Ninguno
I b	81 – 90	Ninguno/Saneado
II a	71 – 80	(Ninguno/Cunetas) Pernos puntuales
II b	61 – 70	Cunetas al pie del talud/malla Pernos puntuales o sistemáticos
III a	51 – 60	Cuneta y/o malla Pernos puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado (Cunetas al pie del talud y/o malla)
III b	41 – 60	Pernos sistemáticos/Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 – 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje
IV b	21 – 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y/o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	nov-20	Muros de contención Reexcavación

Fuente: (Gavilanes & Andrade, 2004)

3.7 ANÁLISIS MEDIANTE EL SOFTWARE DIPS

El análisis se realizó mediante el software Dips v6.0, el cual nos permite visualizar y analizar información estructural (planos, fallas, juntas...) basados en su orientación, siguiendo las mismas técnicas que las utilizadas para la proyección estereográfica manual, además de hacer uso de una amplia variedad de posibilidades computacionales.

Tabla 29
Data de campo.

DIP	DIP DIRECTION	SET	TIPO
87	40	2	J1
23	37	2	J2
78	304	3	S
80	43	2	J1
84	38	2	J1
81	45	2	J1
78	41	2	J1
27	40	1	J2
20	39	1	J2
25	35	1	J2
26	32	1	J2
74	298	3	S
80	306	3	S
76	301	3	S
77	300	3	S

3.7.1 Análisis de Falla Planar

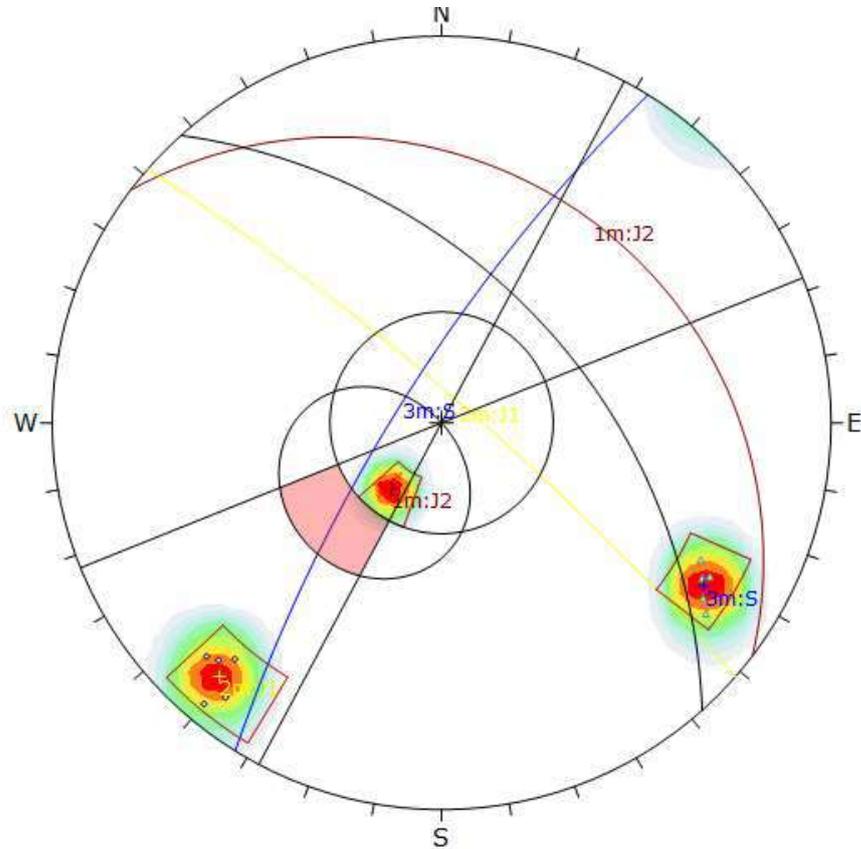


Figura 39. Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud, con límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se evidencia que no se produce la falla planar según las características geomecánicas.

Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.20		
	3.20 - 6.40		
	6.40 - 9.60		
	9.60 - 12.80		
	12.80 - 16.00		
	16.00 - 19.20		
	19.20 - 22.40		
	22.40 - 25.60		
	25.60 - 28.80		
	28.80 - 32.00		
Maximum Density	31.96%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	40		
Friction Angle	32°		
Lateral Limits	20°		
	Critical Total %		
Planar Sliding (All)	0	15	0.00%

Figura 40. Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.

3.7.2 Análisis de Falla en Cuña

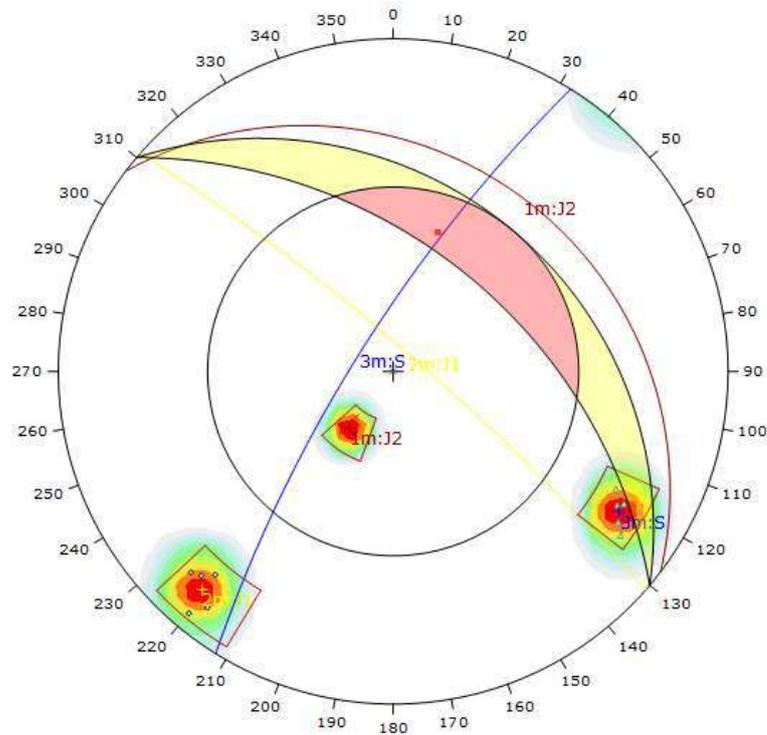


Figura 41. Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud. Se evidencia que no se produce la falla en cuña para las discontinuidades antitéticas en dirección según las características geomecánicas.

Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.20		
	3.20 - 6.40		
	6.40 - 9.60		
	9.60 - 12.80		
	12.80 - 16.00		
	16.00 - 19.20		
	19.20 - 22.40		
	22.40 - 25.60		
	25.60 - 28.80		
	28.80 - 32.00		
Maximum Density	31.96%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	40		
Friction Angle	32°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	105	0.95%

Figura 42. Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.

3.7.3 Análisis de Falla por vuelco

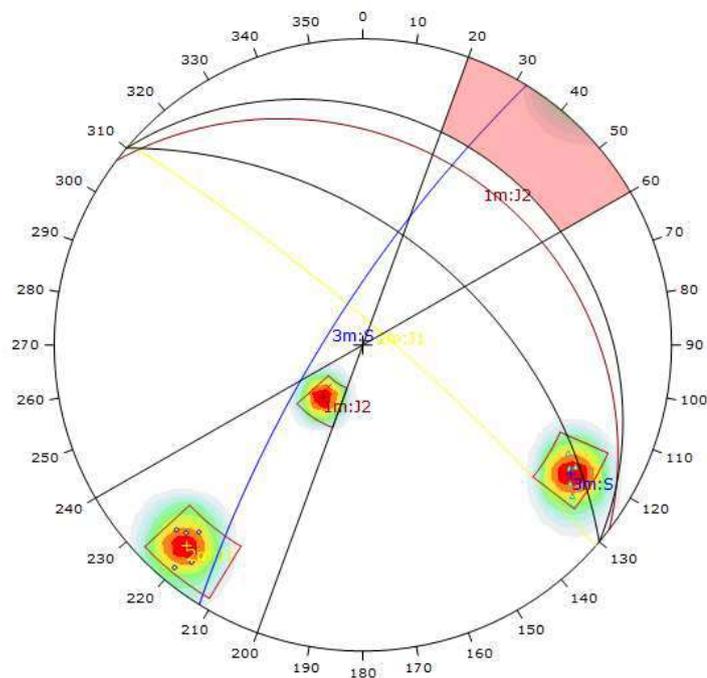


Figura 43. Se realizó el análisis estereográfico de las discontinuidades en base al cono de fricción y la envolvente del talud, con límites laterales de $\pm 20^\circ$. Se evidencia que no se produce la falla por vuelco en ninguna de las familias de discontinuidades ni estratificación, según las características geomecánicas.

Color	Density Concentrations		
	0.00 - 3.20		
	3.20 - 6.40		
	6.40 - 9.60		
	9.60 - 12.80		
	12.80 - 16.00		
	16.00 - 19.20		
	19.20 - 22.40		
	22.40 - 25.60		
	25.60 - 28.80		
	28.80 - 32.00		
Maximum Density 31.96%			
Contour Data Pole Vectors			
Contour Distribution Fisher			
Counting Circle Size 1.0%			
Kinematic Analysis Flexural Toppling			
Slope Dip 50			
Slope Dip Direction 40			
Friction Angle 32°			
Lateral Limits 20°			
	Critical Total %		
Flexural Toppling (All)	0	15	0.00%

Figura 44. Valores de las curvas de densidades para cada familia de diaclasas.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El análisis pseudoestático indica que el talud ubicado en el Km 130+250 - Km 130+450, San Juan-Cajamarca, es sísmicamente inestable. Influyendo también factores geométricos y factores detonantes. Ya que el talud está compuestos en su mayoría por depósitos cuaternarios coluvio-aluviales (suelos CL), por rocas de la Formación Pariatambo y por subvolcánicos andesíticos que intruyen dicha formación, que se ven afectados por agentes detonantes como la sismicidad y la infiltración de agua en los materiales producto de la precipitación, reduciendo su resistencia y alterando sus propiedades geomecánicas. La combinación de todos estos factores, influyen en la estabilidad. Por lo que la hipótesis ha sido contrastada y verificada.

EL talud se analizó en condiciones estáticas y pseudoestáticas. Para lo cual se tuvo en cuenta la litología, topografía, propiedades geomecánicas de los materiales (cohesión, ángulo de fricción en suelos; y resistencia a la compresión uniaxial en rocas, además de parámetros obtenidos en el software RocData v5.0 a partir de datos de entrada determinados en campo). Con un enfoque de equilibrio sin movimiento sísmico y otro con fuerza sísmica, se determinó que este lugar si es propenso a deslizamientos en caso de un movimiento sísmico. Clasificándole al talud en estudio sísmicamente inestable.

A partir de los análisis de laboratorio se obtuvo los parámetros geotécnicos descritos anteriormente, los cuales nos indican que las zonas más propensas a deslizamientos del talud están compuestas por depósitos cuaternarios, los cuales son suelos gravosos, con abundantes finos arcillosos y limosos.

(Arteaga, 2017), En su tesis determinó que los factores geológicos-geotécnicos afectados por procesos geodinámicos en la inestabilidad de un talud, siendo los taludes más inestables de la zona los que están compuestos por depósitos cuaternarios, concordando con los resultados obtenidos.

El análisis en el Software Slide v7.0, nos permite utilizar métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Para este estudio se emplearon los métodos de Spencer, GLE/Morgenstern-Price los cuales son más precisos y permiten realizar análisis más rigurosos tal y como recomienda en su tesis (Villanueva Villena, 2018), a través de los cuales obtuvimos El factor de seguridad resultante.

(Montoya, 2014) En su tesis analizó la inestabilidad de los taludes tomando en cuenta el contexto geológico local, regional y la estrecha relación que existe con los agentes geodinámicos, los cuales provocan la disminución de los esfuerzos de resistencia como la cohesión y la fricción interna. Por lo cual se produce la inestabilidad de los taludes. Corroborando la hipótesis planteada para este estudio.

Sin embargo, después de los análisis podemos afirmar que tanto en taludes de suelo y rocas, la estabilidad también depende de las propiedades físicas de los taludes (altura, pendiente, longitud de pie) y de la topografía. Estos factores sumados a los factores geológicos y geotécnicos, influyen en el resultado final de los análisis en las condiciones aplicadas.

La presente Investigación se realizó con el propósito de dar a conocer la influencia de la actividad sísmica en la estabilidad de los taludes, para posteriormente aplicar las medidas correctivas o de estabilización si fuera necesario.

Las limitaciones que se presentaron para esta investigación fueron el no contar con equipos para realizar estudios de sísmica de reflexión y conocer mejor las características del subsuelo; el costo elevado de la instalación de piezómetros en diversos puntos de monitoreo.

Se recomienda, implementar un sistema de control y monitoreo geotécnico a lo largo de la ladera del cerro, con la finalidad de monitorear movimientos lentos del terreno.

Realizar estudios geofísicos, específicamente sondajes eléctricos verticales, con la finalidad de determinar la profundidad del nivel freático en este sector.

En la parte inferior del talud, se recomienda remover la base del talud e implementar muros de gaviones. En cuanto a la parte superior para evitar el efecto erosivo del agua de escorrentía sobre los taludes de corte se deberá prever cunetas o zanjas de coronación (tendrán una forma trapezoidal cuyas medidas son: la parte libre como mínimo 1.00 m., en la base 0.50 m. y la altura 0.50 m). Y para el macizo rocoso se recomienda un desquinchado para evitar caídas de rocas y sobre todo en las discontinuidades críticas y se procederá implantar un enmallado anclado, funcionando como receptor de caídas de rocas.

4.2 Conclusiones

- Un análisis pseudoestático permite predecir el comportamiento de estabilidad física del talud frente a un evento sísmico que se podría producir por eventos tectónicos, a fin de prevenir un posible deslizamiento debido a cambios en los parámetros geotécnicos del suelo y roca.
- Se realizó el análisis de estabilidad para roca mediante la proyección estereográfica utilizando el software Dips V6.0 y se determinó en base a las discontinuidades y el ángulo de fricción que no se producirá fallas del tipo planar, en cuña y por vuelco.
- Se determinó el Factor de Seguridad con el software Slide V.7.0 mediante los métodos de Spencer y Morgenstern-Price, varía de acuerdo a las condiciones aplicadas (estáticas y pseudoestáticas), obteniendo un valor de $FS = 0.663$, clasificándolo como inestable según la norma para proyectos civiles.
- Se determinó el SMR, obteniendo un valor de 70, clasificándolo como clase Iib. El cual nos permitió implementar medidas de sostenimiento.
- Se realizó el cartografiado geológico de la zona de investigación, encontrándose afloramientos de la Formación Pariatambo y depósitos cuaternarios de tipo coluvio-aluvial, los cuales fueron determinados como CL, según la Clasificación SUCS.

REFERENCIAS

- Aguilar Goenaga, O. (2015). Análisis Comparativo de Estabilidad de Taludes Mediante los Metodos de Equilibrio Límite Aplicado a Taludes o Laderas Aledañas al Cerro de la Popa, Caso Urbano de Cartagena. (*tesis profesional*). Universidad de Cartagena, Cartagena.
- Arteaga, N. M. (2017). Análisis geológico-geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa-Magdalena. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Belandria, N., & Bongiorno, F. (19 de 04 de 2017). *Clasificación geomecánica de los macizos rocosos segun: Bieniawski, Barton, Hoke y Brown, Romana*. Obtenido de Geotecnia:
http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf
- Bongiorno, F. (2011). Determinación de la dirección de los esfuerzos principales a través de análisis numérico y proyecciones estereográficas de la falla de Boconó en el sector Yacambú Estado Lara. *Ciencia e Ingeniería*. Universidad de los Andes, Mérida.
- Braja, D. (2001). *Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica*. California: Thomsom Learning.
- Carunambo, Y. M. (2017). Evaluación geomecánica de los taludes de la carretera Encañada-Celendín en el tramo km 32+000 - km 46+000. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Chanquín Gómez, E. (2004). Diversas Aplicaciones de Gaviones Para la Protección y Estabilización de Taludes. (*tesis profesional*). Universidad de San Caelos de Guatemala, Guatemala.
- Gavilanes, H., & Andrade, B. (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles*. Quito: AIME.
- González, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- Hernández Samperi, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). Metodología de la Investigación Sexta Edición. México. Obtenido de Mc Graw Hill Education.
- INGEMMET. (2016). *Deslizamiento en ruta Cajamarca - Ciudad de Dios*.
- Maccaferri. (2001). *Obras de Contención*. Brasil: Ediciones de la U.

- Mendo, D. A. (2018). Análisis de estabilidad del talud del Megacentro Comercial 30 de Enero y Propuesta de solución con el Sistema Soil Nailing- Jicamarca. (*tesis Profesional*). Universidad César Vallejo, Lima.
- Mendoza, J. (2016). Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. (*tesis profesional*). Pontificia Universidad católica del Perú, Lima.
- Montoya, F. R. (Abril de 2014). Evaluación geotécnica de los taludes Cruz Blanca-El Gavilán. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de Repositorio Institucional UNC.
- Oblitas, J. (2018). *Guía de Investigación Científica 2018 V(2)*. Universidad Privada del Norte.
- Piñar Vinegas, R. (2008). Proyecto de Construcción de un Muro de Gaviones de 960m³. (*tesis profesional*). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Red DESIR.
- Rico, A., & Castillo H. (1998). *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres*. México: Limusa.
- Saez, E. (2010). *Fundamentos de la Geotécnia*. Chile: MaxSoft.
- Soto Contreras, J. (2017). Presupuesto para Muro en Gavión a Gravedad-Para Protección de la Rivera del Río Magdalena en el Corregimiento de Puerto Bogotá Municipio de Guaduas Cundinamarca. (*tsis profesional*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Suárez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Colombia: U. Industrial de Santander.
- Tardeo, C. (2016). Análisis Dinámico de Estabilidad de Taludes por Elementos Finitos en la zona de Huayllapampa del dsitrito de cuenca-Huancavelica. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Huancavelica, Lircay.
- Villanueva Villena, E. (2018). Evaluación Geotécnica para Analizar la Estabilidad de los Taludes en la Carretera de los Km 128 a Km 140 de la Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, Distrito de San Juan, Provincia y Departamento de Cajamarca. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Zabaleta. (2016). Evaluación Geotécnica en Zonas Críticas de la Carretera Cajabamba-Cauday. (*tesis profesional*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.

ANEXOS

ANEXO N° 01

FOTOGRAFÍAS



Figura 45. Toma de datos de los depósitos cuaternarios del talud.



Figura 46. Toma de datos del macizo roco de la Formación Pariatambo.



Figura 47. Levantamiento topográfico del talud.



Figura 48. Toma de muestras de suelo del talud.



Figura 49. Análisis mecánico por tamizado de suelos.



Figura 50. Determinación del límite líquido y límite plástico de los suelos.



Figura 51. Hundimiento en la carretera del talud.

ANEXO N° 02

PLANOS

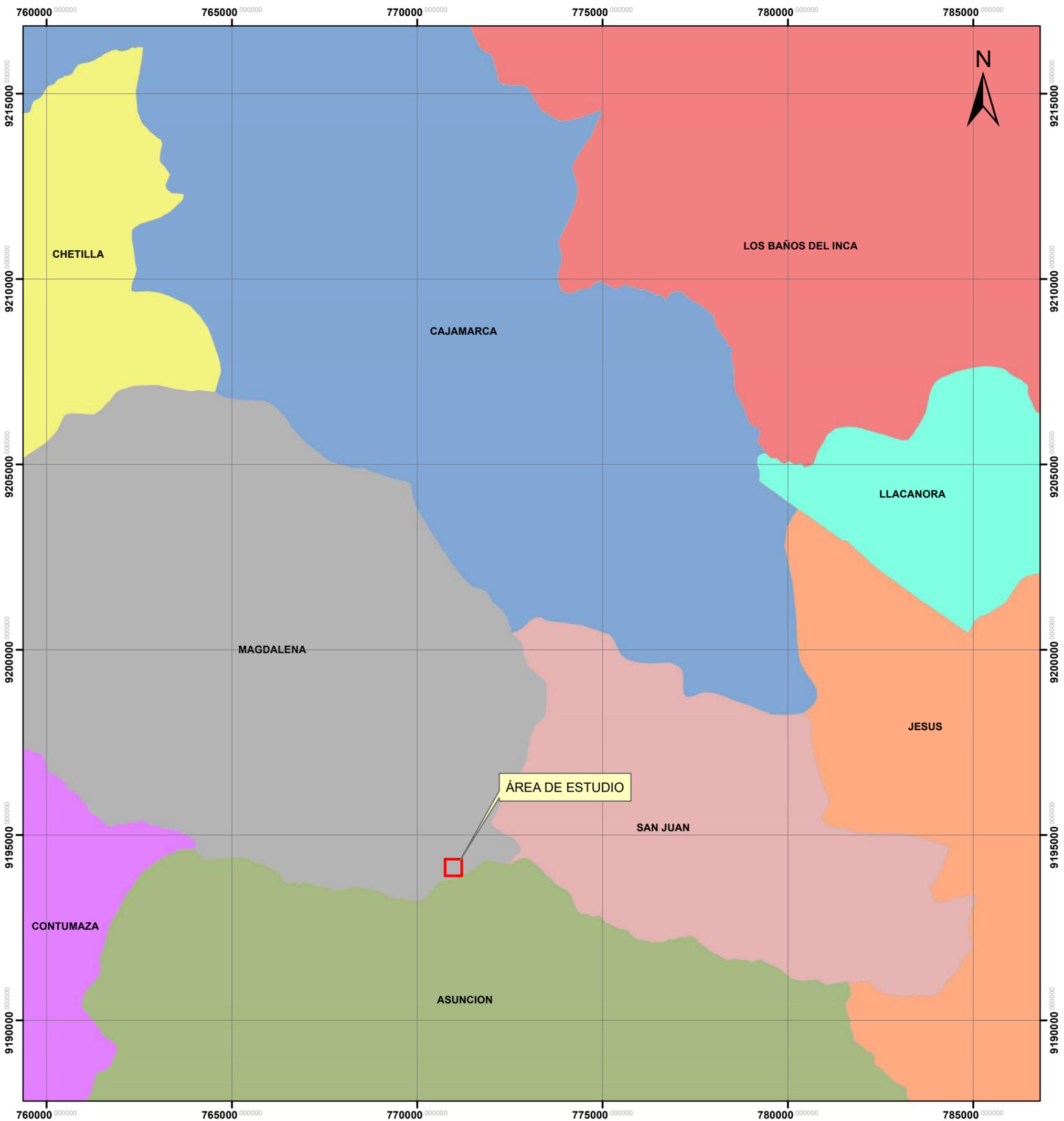
PLANO 01: UBICACIÓN

PLANO 02: ACCESIBILIDAD

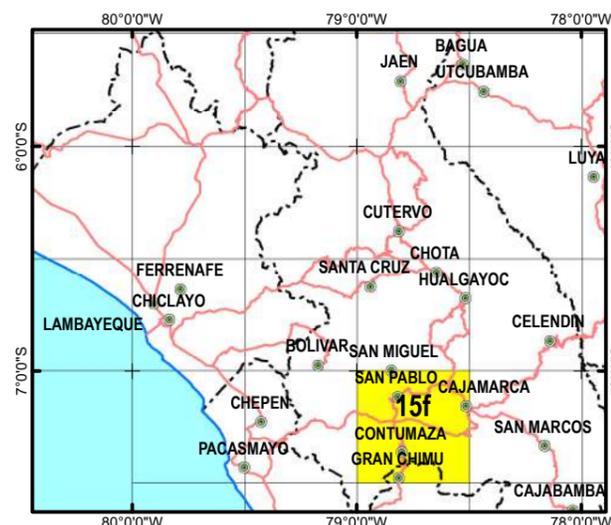
PLANO 03: GEOLÓGICO

PLANO 04: TOPOGRÁFICO

PLANO DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



LEYENDA	
	ASUNCION
	CAJAMARCA
	CHETILLA
	CONTUMAZA
	JESUS
	LLACANORA
	LOS BAÑOS DEL INCA
	MAGDALENA
	SAN JUAN
	ZONA DE ESTUDIO
	TALUD "EL NARANJO"
	VIAS - CARRETERA



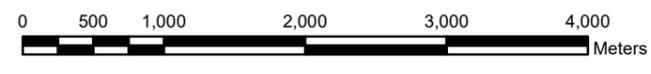
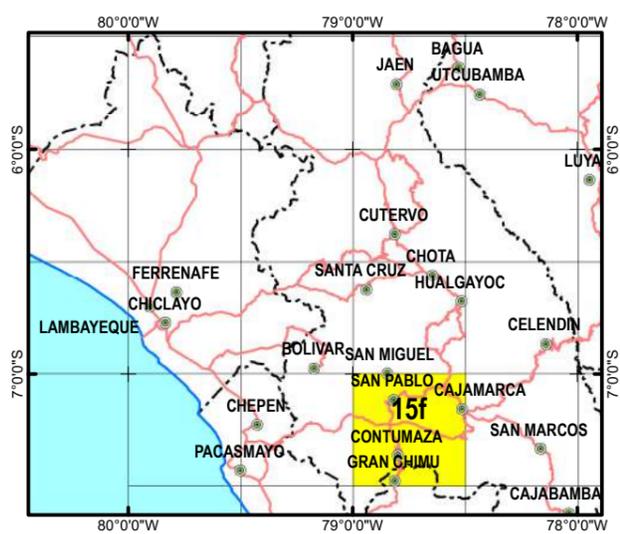
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Br. Luis Kleiber Araujo Sanchez			
ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL Km 130+250- Km130 +500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019			
	PLANO DE UBICACIÓN		PLANO N° 01
	DPTO.	PROV.	DISTRITO
	Cajamarca	Cajamarca	Magdalena
			Sistema de coordenadas: UTM-WGS84
			ESCALA: 1:100000

PLANO DE ACCESIBILIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO



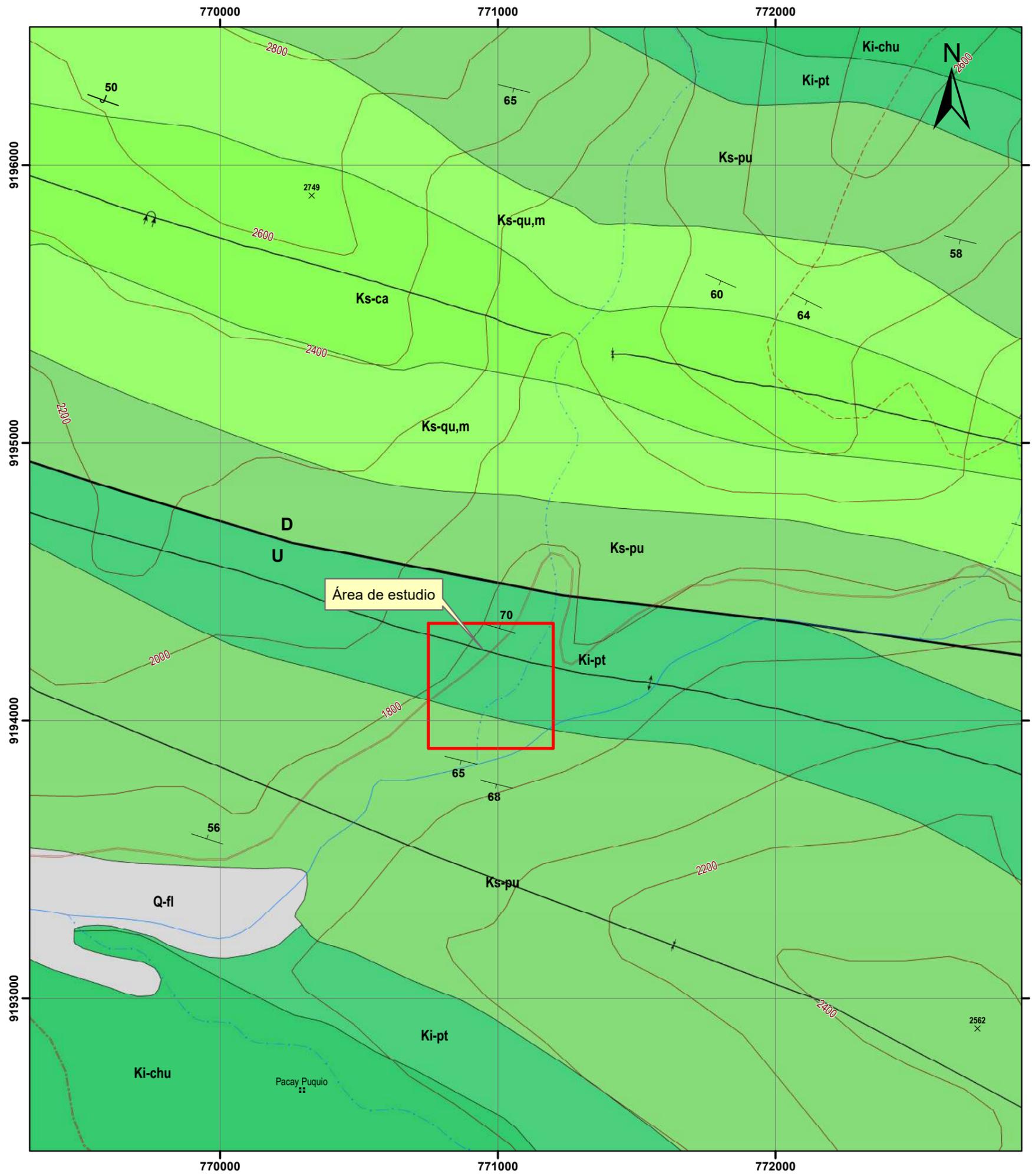
Leyenda

- Vía Pavimentada Tramo San Juan - Talud
- Vía Pavimentada. Tramo Cajamarca - San Juan
- Cajamarca
- San Juan
- talud
- Zona_estudio



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Br. Luis Kleiber Araujo Sanchez			
ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL Km 130+250- Km130 +500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019			
	PLANO: ACCESIBILIDAD		PLANO N° 02
	DPTO	PROV.	DISTRITO
	Cajamarca	Cajamarca	Magdalena
			Sistema de coordenadas: UTM-WGS84
			ESCALA: 1:50000

PLANO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

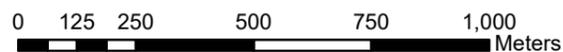
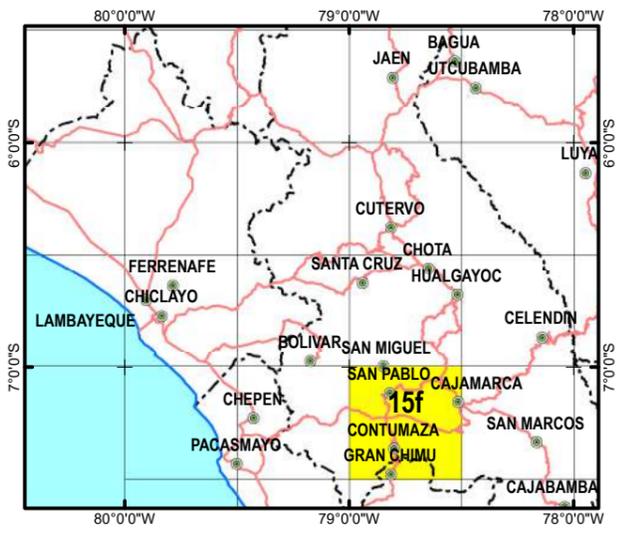


LEYENDA

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	Depósito fluvial
		PLEISTOCENO		Depósito fluvial
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	2.58	Formación Cajamarca
			66.0	Grupo Quilquiñán, Mujarrún
		INFERIOR	100.5	Grupo Pullucana
			145.0	Formación Pariatambo
			Formación Chulec	

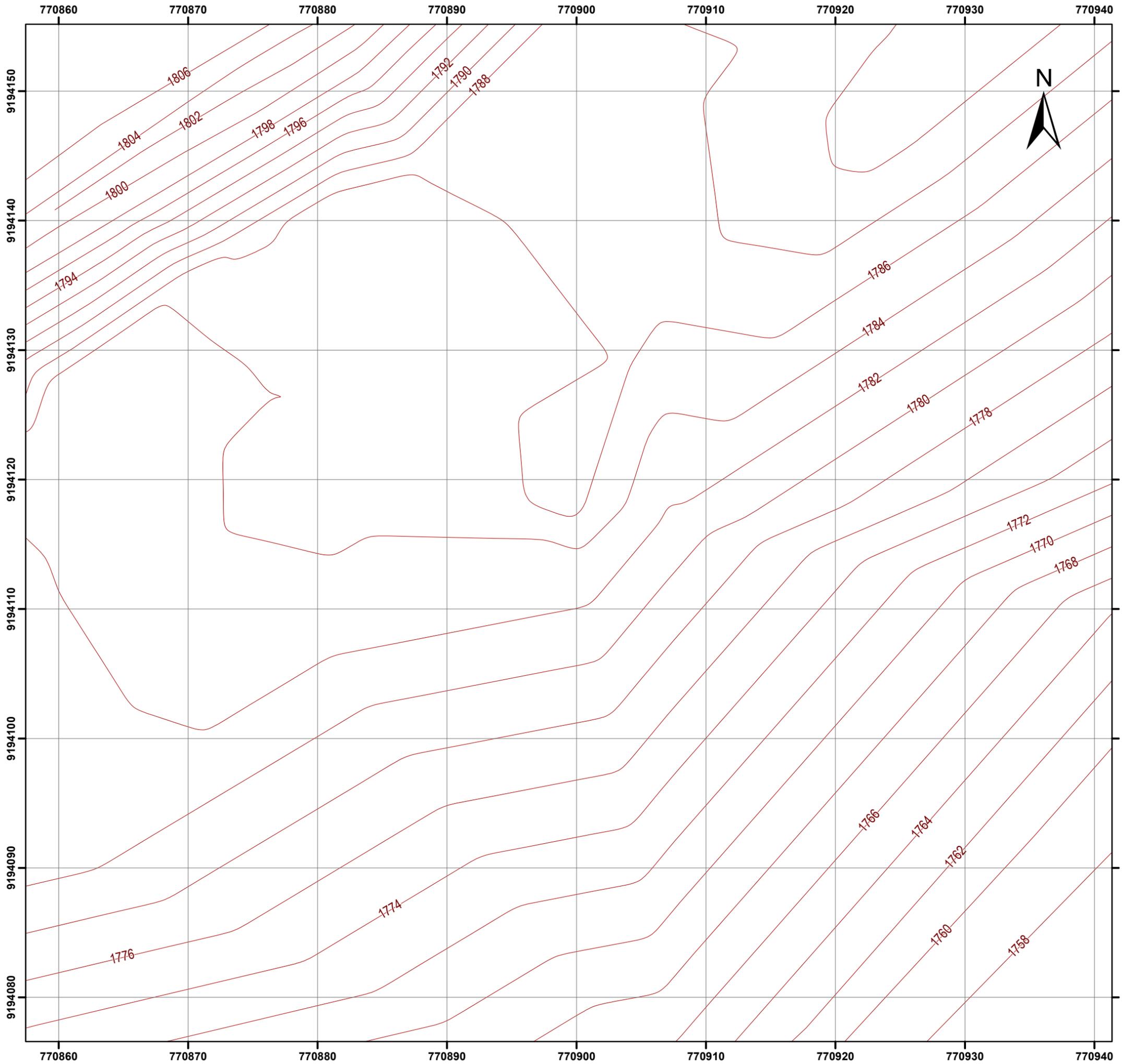
SÍMBOLOS

- 10° Rumbo y buzamiento de estratos
- U_D Falla normal
- X Eje de anticlinal
- X Eje de sinclinal tumbado
- X Eje de sinclinal
- Contacto geológico
- Curva de nivel - primaria
- Carretera afirmada, transitable
- Camino de herradura
- Río secundario
- Quebrada



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Br. Luis Kleiber Araujo Sanchez			
ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL Km 130+250- Km130 +500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019			
	PLANO: GEOLÓGICO		PLANO N° 03
	DPTO.	PROV.	DISTRITO
	Cajamarca	Cajamarca	Magdalena
			Sistema de coordenadas: UTM-WGS84
			ESCALA: 1:15000

PLANO TOPOGRÁFICO



ANEXO 03

RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO



Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

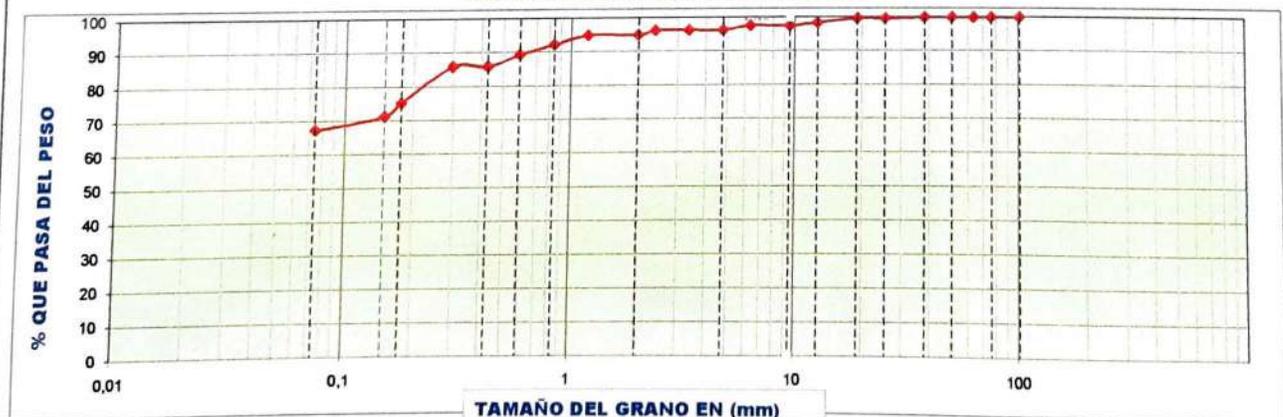
Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI
 Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ
 Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755
 RUC. 10266305856

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (AASHTO T-27 ASTM D 422)

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA
CALICATA	: N°1 PROFUNDIDAD EN (m): 2,00
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM 422						CONTENIDO DE HUMEDAD		
	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIONES			
4"	101,6						Numero de la Tara	S/N	
3"	76,200						Peso de la Tara	10,8	
2 1/2"	63,500						Tara + Suelo Humedo	499,8	
2"	50,800						Tara + Suelo Seco	352,5	
1 1/2"	38,100				100,0		Peso del agua	147,3	
1"	25,400	5,3	0,3	0,3	99,7		Peso del suelo neto	341,7	
3/4"	19,050						% de Humedad	43,11	
1/2"	12,700	21,6	1,2	1,5	98,5		RESULTADOS DE ENSAYOS		
3/8"	9,525	16,3	0,9	2,4	97,6		- LÍMITE LÍQUIDO (%)	:	48,92
1/4"	6,350						- LÍMITE PLÁSTICO (%)	:	25,63
N° 4	4,760	22,3	1,2	3,6	96,4		- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	:	23,29
N° 6	3,360						- CLASIFICACIÓN SUCS	:	CL
N° 8	2,380						- CLASIFICACIÓN AASHTO	:	A-7-6 (15)
N° 10	2,000	24,6	1,4	5,0	95,0		DATOS DE LA MUESTRA		
N° 16	1,190						- PESO TOTAL (gr)	:	1800,0 100,0 %
N° 20	0,840	49,2	2,7	7,7	92,3		- PESO GRAVA (gr)	:	65,5 3,6 %
N° 30	0,590	52,3	2,9	10,6	89,4		- PESO ARENA (gr)	:	1734,5 96,4 %
N° 40	0,426	60,9	3,4	14,0	86,0		- PESO FRACCIÓN (gr)	:	
N° 50	0,297								
N° 80	0,177	190,6	10,6	24,6	75,4				
N° 100	0,149	73,5	4,1	28,7	71,3				
N° 200	0,074	69,0	3,8	32,5	67,5				
-200		1.214,4	67,5						

CURVA GRANULOMÉTRICA



LAS MUESTRAS FUERON ALCANZADAS POR EL INTERESADO

Wilfredo R. Fernández Muñoz
 Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682

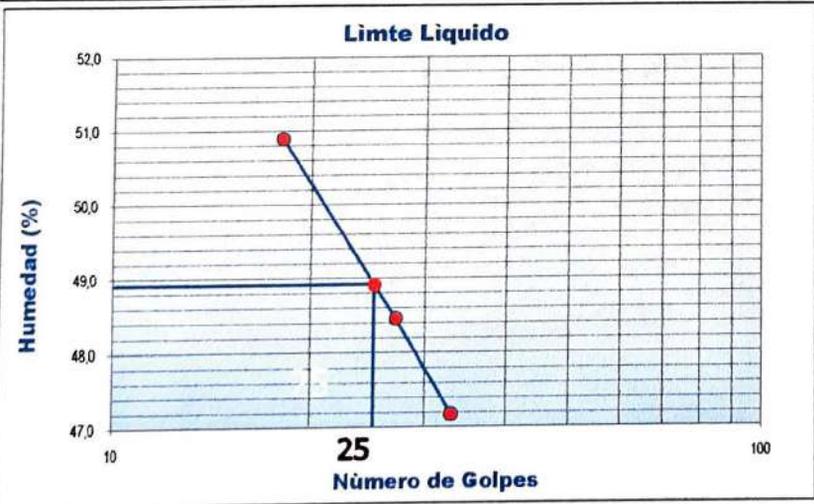


LIMITES DE CONSISTENCIA
(NORMA AASHTO T - 90 - ASTM D 4318)

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"		
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA		
CALICATA	: N°1	PROFUNDIDAD (m):	2,00
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER		
FECHA	: AGOSTO DEL 2019		

LIMITE LIQUIDO ASTM D-423				
TARA N°	I	II	II	
N° DE GOLPES	18	27	33	
TARA+SUELO HUMEDO	42,39	43,48	42,99	
TARA+SUELO SECO	35,33	35,01	35,88	
PESO DEL AGUA	7,06	8,47	7,11	
PESO DE LA TARA	21,46	17,53	20,81	
PESO DEL SUELO SECO	13,87	17,48	15,07	
HUMEDAD (%)	50,90	48,46	47,18	

LIMITE PLASTICO ASTM D-424				
TARA N°	A	B		
TARA+SUELO HUMEDO	25,89	28,41		
TARA+SUELO SECO	24,68	27,19		
PESO DEL AGUA	1,21	1,22		
PESO DE LA TARA	19,91	22,48		
PESO DEL SUELO SECO	4,77	4,71		
HUMEDAD (%)	25,37	25,90		
HUMEDAD PROMEDIO (%)	25,63			



Limites de Consistencia	
Limite Liquido	48,92
Limite Plastico	25,63
Indice Plasticidad	23,29

Observaciones	

Wilfredo R. Fernández Muñoz
 Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"		
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA		
CALICATA	: N °1 - PROFUNDIDAD (m) : 2,00		
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER		
TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADA		
FECHA	: AGOSTO DEL 2019		

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA

Lado o diámetro (cm)	6,2	Humedad (%)	43,11
Altura inicial de la muestra (cm)	1,98	Altura final de la muestra (cm)	1,87
Area (cm ²)	38,44	Densidad húmeda final (gr/cm ³)	1,461
Volumen (cm ³)	76,11	Densidad seca final (gr/cm ³)	1,102

APLICACIONES DE CARGA

Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0,25		
Carga normal (KG)	5		
Esp. de muestra	I	II	III
Peso de la Semi Caja Superior (Kg)	4	8	16
Esfuerzo Normal (σ) (Kg/cm ²)	1,00	2,00	4,00
Esf. de corte máximo (σ) (Kg/cm ²)	0,40	0,66	1,19

ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ) = 14,10
 COHESION (Kg/cm²) 0,15

Deformacion %	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	0,10	0,18	0,15	0,08	0,30	0,08
0,10	0,20	0,18	0,30	0,15	0,50	0,13
0,20	0,22	0,21	0,40	0,20	0,62	0,16
0,40	0,24	0,25	0,48	0,24	0,75	0,19
0,50	0,25	0,26	0,52	0,26	0,85	0,21
0,75	0,26	0,31	0,54	0,27	0,95	0,24
1,00	0,27	0,35	0,54	0,27	0,99	0,25
1,25	0,28	0,34	0,55	0,28	1,05	0,26
1,50	0,30	0,37	0,56	0,28	1,07	0,27
1,75	0,32	0,39	0,56	0,28	1,10	0,28
2,00	0,32	0,39	0,58	0,29	1,10	0,28
2,25	0,35	0,40	0,60	0,30	1,12	0,28
2,50	0,35	0,35	0,62	0,31	1,13	0,28
2,75	0,36	0,36	0,62	0,31	1,14	0,29
3,00	0,37	0,44	0,63	0,32	1,15	0,29
3,25	0,38	0,45	0,64	0,32	1,15	0,29
3,50	0,39	0,46	0,65	0,33	1,16	0,29
3,75	0,40	0,48	0,66	0,33	1,17	0,29
4,00	0,40	0,51	0,66	0,33	1,19	0,34



Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

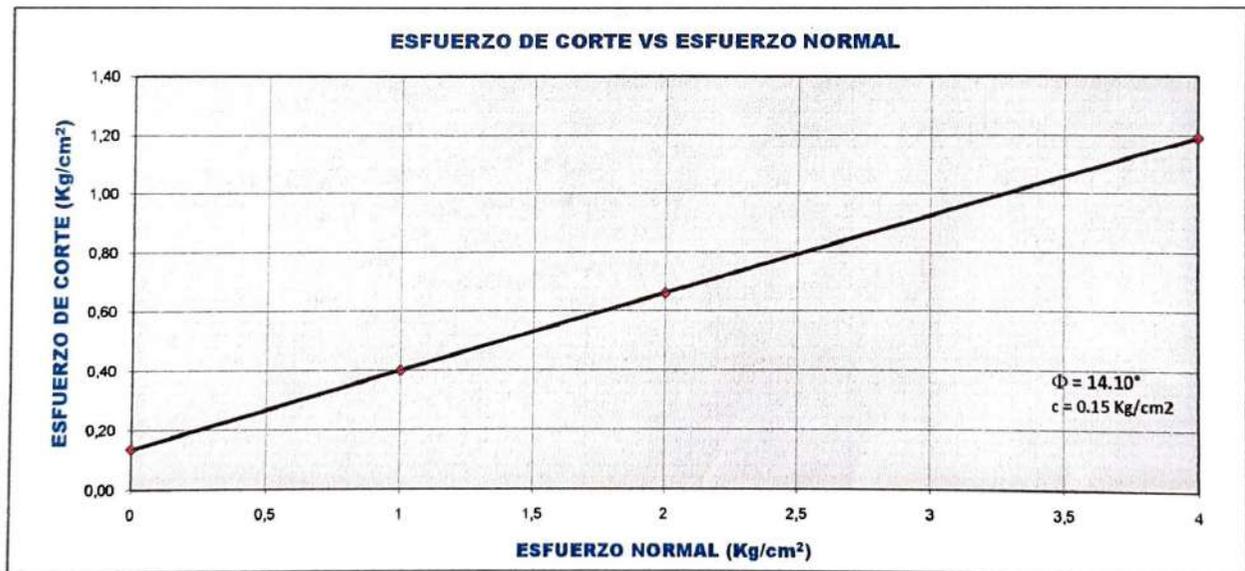
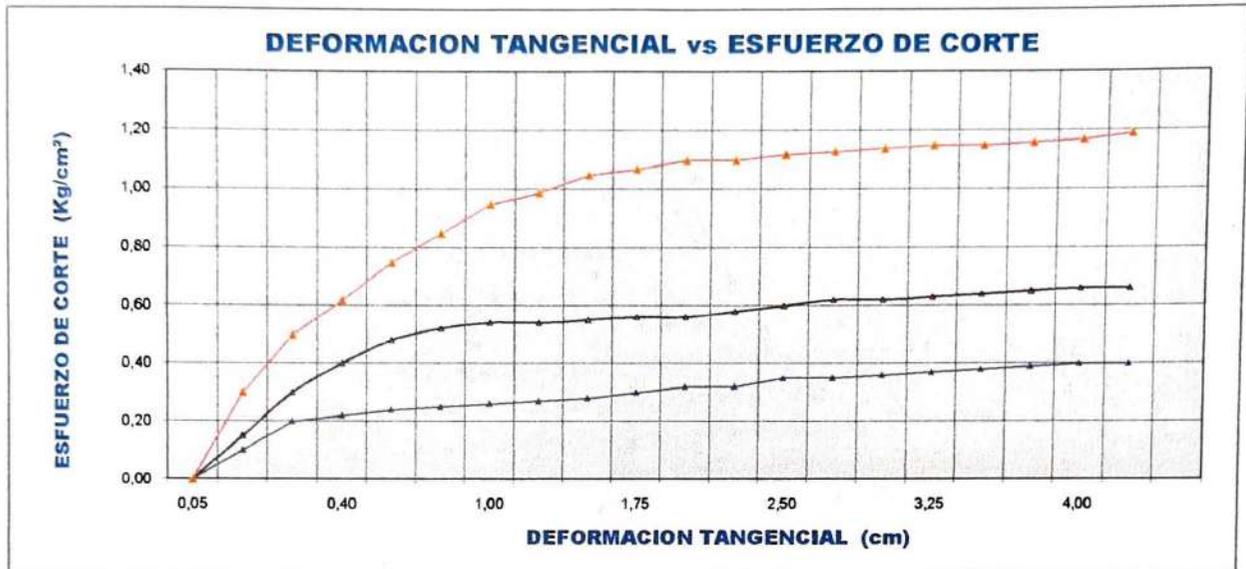
Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI

Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ

Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755

RUC. 10266305856




Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
INGENIERO CIVIL
CIP. 26682



Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI

Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ

Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755

RUC. 10266305856

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (AASHTO T-27 ASTM D 422)

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA
CALICATA	: N°2 PROFUNDIDAD EN (m): 2,00
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM 422						CONTENIDO DE HUMEDAD		
	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIONES			
4"	101,6						Numero de la Tara	S/N	
3"	76,200						Peso de la Tara	10,9	
2 1/2"	63,500						Tara + Suelo Humedo	428,1	
2"	50,800						Tara + Suelo Seco	303,6	
1 1/2"	38,100						Peso del agua	124,5	
1"	25,400				100,0		Peso del suelo neto	292,7	
3/4"	19,050						% de Humedad	42,54	
1/2"	12,700	19,6	1,2	1,2	98,8		RESULTADOS DE ENSAYOS		
3/8"	9,525	11,5	0,7	1,9	98,1				
1/4"	6,350						- LÍMITE LÍQUIDO (%)	:	47,81
N° 4	4,760	27,2	1,7	3,6	96,4		- LÍMITE PLÁSTICO (%)	:	26,12
N° 6	3,360						- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	:	21,69
N° 8	2,380						- CLASIFICACIÓN SUCS	:	CL
N° 10	2,000	31,6	2,0	5,6	94,4		- CLASIFICACIÓN AASHTO	:	A-7-6 (12)
N° 16	1,190						RESULTADOS DE ENSAYOS		
N° 20	0,840	38,5	2,4	8,0	92,0				
N° 30	0,590	51,6	3,2	11,3	88,8		- PESO TOTAL (gr)	:	1600,0 100,0 %
N° 40	0,426	65,1	4,1	15,3	84,7		- PESO GRAVA (gr)	:	58,3 3,6 %
N° 50	0,297						- PESO ARENA (gr)	:	1541,7 96,4 %
N° 80	0,177	222,9	13,9	29,3	70,8		- PESO FRACCIÓN (gr)	:	
N° 100	0,149	59,3	3,7	33,0	67,0				
N° 200	0,074	64,8	4,1	37,0	63,0				
-200		1.007,9	63,0						

CURVA GRANULOMÉTRICA



LAS MUESTRAS FUERON ALCANZADAS POR EL INTERESADO

Wilfredo R. Fernández Muñoz
Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682



LIMITES DE CONSISTENCIA (NORMA AASHTO T - 90 - ASTM D 4318)

TESIS : "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"

UBICACIÓN : DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA

CALICATA : N°2 PROFUNDIDAD (m): 2,00

TESISTA : BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER

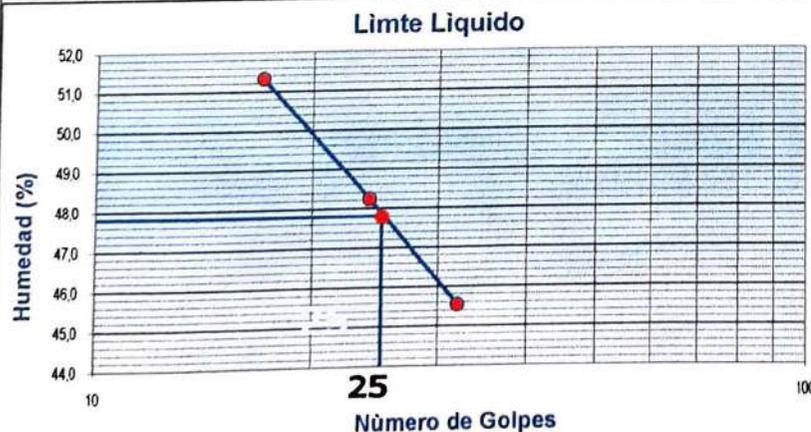
FECHA : AGOSTO DEL 2019

LIMITE LIQUIDO ASTM D-423

TARA N°	IV	V	VI
N° DE GOLPES	32	24	17
TARA+SUELO HUMEDO	34,38	36,54	40,70
TARA+SUELO SECO	28,69	29,47	31,84
PESO DEL AGUA	5,69	7,07	8,86
PESO DE LA TARA	16,20	14,82	14,58
PESO DEL SUELO SECO	12,49	14,65	17,26
HUMEDAD (%)	45,56	48,26	51,33

LIMITE PLASTICO ASTM D-424

TARA N°	C	D
TARA+SUELO HUMEDO	24,05	22,55
TARA+SUELO SECO	22,76	21,27
PESO DEL AGUA	1,29	1,28
PESO DE LA TARA	17,81	16,38
PESO DEL SUELO SECO	4,95	4,89
HUMEDAD (%)	26,06	26,18
HUMEDAD PROMEDIO (%)	26,12	



Limites de Consistencia	
Limite Liquido	47,81
Limite Plastico	26,12
Indice de Plasticidad	21,69

Observaciones	

Wilfredo R. Fernández Muñoz
Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682



ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA
CALICATA	: N °2 - PROFUNDIDAD (m) : 2,00
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER
TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADA
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA			
Lado o diámetro (cm)	6,2	Humedad (%)	42,54
Altura inicial de la muestra (cm)	1,98	Altura final de la muestra (cm)	1,85
Area (cm ²)	38,44	Densidad húmeda final (gr/cm ³)	1,491
Volumen (cm ³)	76,11	Densidad seca final (gr/cm ³)	1,079

APLICACIONES DE CARGA			
Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0,25		
Carga normal (KG)	5		
Esp. de muestra	I	II	III
Peso de la Semi Caja Superior (Kg)	4	8	16
Esfuerzo Normal (σ) (Kg/cm ²)	1,00	2,00	4,00
Esf. de corte máximo (σ) (Kg/cm ²)	0,38	0,55	1,05

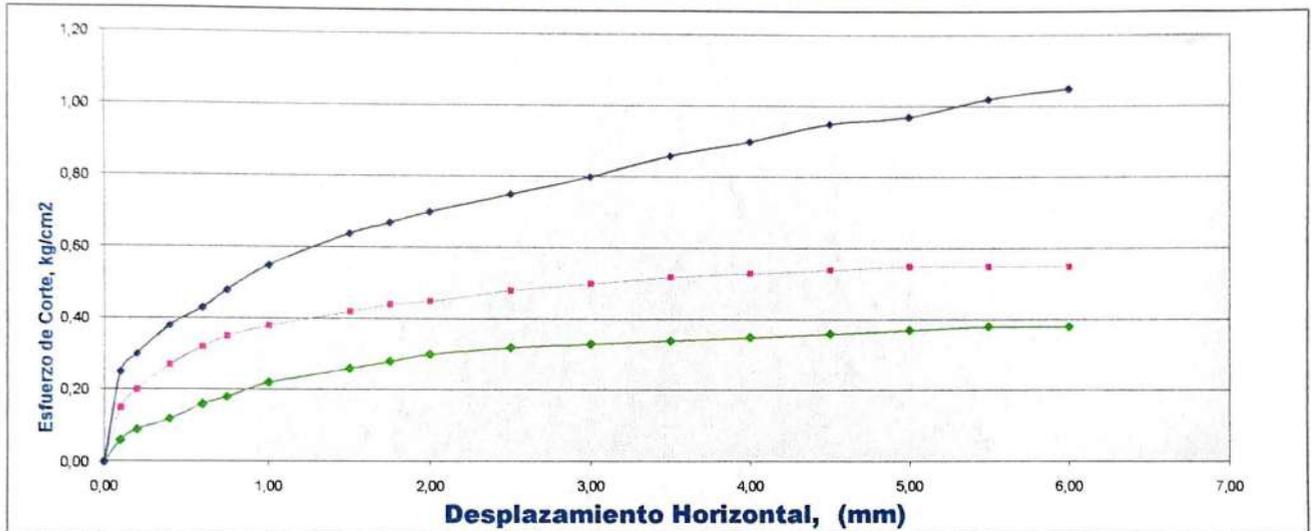
ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ) = 12,20
COHESION (Kg/cm²) 0,14

Deformación Tangencial mm	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,06	0,53	0,15	0,08	0,25	0,06
0,20	0,09	0,56	0,20	0,10	0,30	0,08
0,40	0,12	0,58	0,27	0,14	0,38	0,10
0,60	0,16	0,63	0,32	0,16	0,43	0,11
0,75	0,18	0,64	0,35	0,18	0,48	0,12
1,00	0,22	0,67	0,38	0,19	0,55	0,14
1,50	0,26	0,67	0,42	0,21	0,64	0,16
1,75	0,28	0,69	0,44	0,22	0,67	0,17
2,00	0,30	0,76	0,45	0,23	0,70	0,18
2,50	0,32	0,78	0,48	0,24	0,75	0,19
3,00	0,33	0,82	0,50	0,25	0,80	0,20
3,50	0,34	0,93	0,52	0,26	0,86	0,22
4,00	0,35	0,94	0,53	0,27	0,90	0,23
4,50	0,36	0,96	0,54	0,27	0,95	0,24
5,00	0,37	0,97	0,55	0,28	0,97	0,24
5,50	0,38	0,98	0,55	0,28	1,02	0,26
6,00	0,38	1,00	0,55	0,28	1,05	0,26

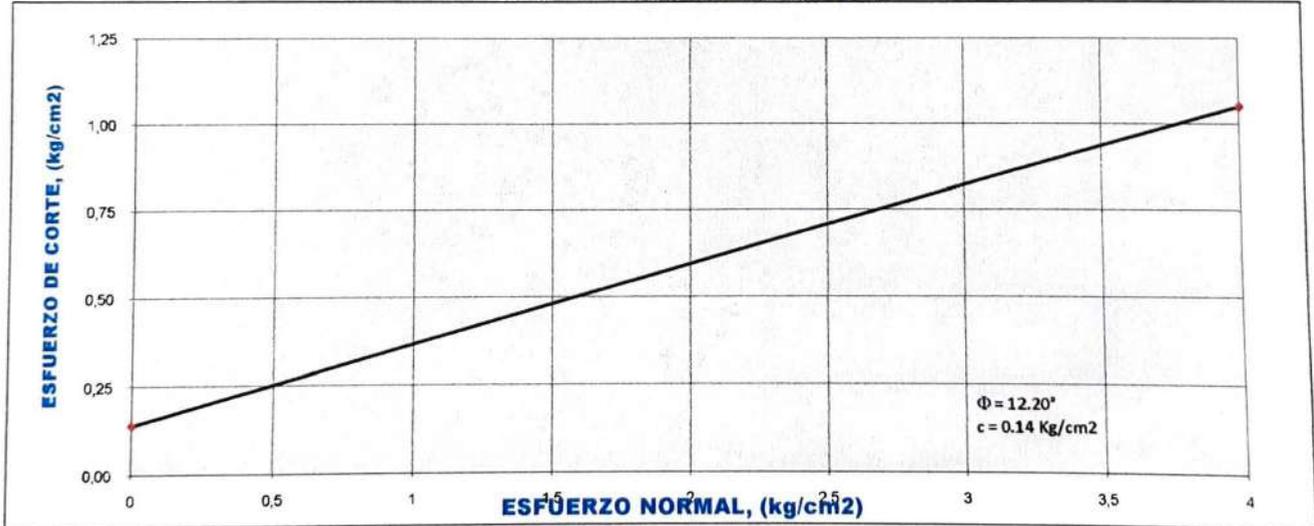
Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
INGENIERO CIVIL
CIP. 26682



APLICACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE



ENVOLVENTES DE RESISTENCIA



Wilfredo Muñoz
Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
INGENIERO CIVIL
CIP. 26682



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (AASHTO T-27 ASTM D 422)

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA
CALICATA	: N°3 PROFUNDIDAD EN (m): 2,00
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

MALLAS SERIE AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM 422						CONTENIDO DE HUMEDAD		
	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIONES			
4"	101,6						Numero de la Tara	S/N	
3"	76,200						Peso de la Tara	12,6	
2 1/2"	63,500						Tara + Suelo Humedo	436,3	
2"	50,800						Tara + Suelo Seco	300,1	
1 1/2"	38,100						Peso del agua	136,2	
1"	25,400						Peso del suelo neto	287,5	
3/4"	19,050						% de Humedad	47,37	
1/2"	12,700						RESULTADOS DE ENSAYOS		
3/8"	9,525						- LÍMITE LÍQUIDO (%)	:	43,02
1/4"	6,350				100,0		- LÍMITE PLÁSTICO (%)	:	20,43
N° 4	4,760	26,7	1,5	1,5	98,5		- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	:	22,59
N° 6	3,360						- CLASIFICACIÓN SUCS	:	CL
N° 8	2,380						- CLASIFICACIÓN AASHTO	:	A-7-6 (15)
N° 10	2,000	18,5	1,0	2,5	97,5		DATOS DE LA MUESTRA		
N° 16	1,190						- PESO TOTAL (gr)	:	1800,0 100,0 %
N° 20	0,840	44,2	2,5	5,0	95,0		- PESO GRAVA (gr)	:	26,7 1,5 %
N° 30	0,590	50,3	2,8	7,8	92,2		- PESO ARENA (gr)	:	1773,3 98,5 %
N° 40	0,426	66,2	3,7	11,4	88,6		- PESO FRACCIÓN (gr)	:	
N° 50	0,297								
N° 80	0,177	140,7	7,8	22,6	77,4				
N° 100	0,149	54,3	3,0	25,6	74,4				
N° 200	0,074	72,6	4,0	29,6	70,4				
-200		1.266,5	70,4						

CURVA GRANULOMÉTRICA



Wilfredo Muñoz
Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 26682

LAS MUESTRAS FUERON ALCANZADAS POR EL INTERESADO



LIMITES DE CONSISTENCIA
(NORMA AASHTO T - 90 - ASTM D 4318)

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"		
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA		
CALICATA	: N°3	PROFUNDIDAD (m): 2,00	
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER		
FECHA	: AGOSTO DEL 2019		

LIMITE LIQUIDO ASTM D-423

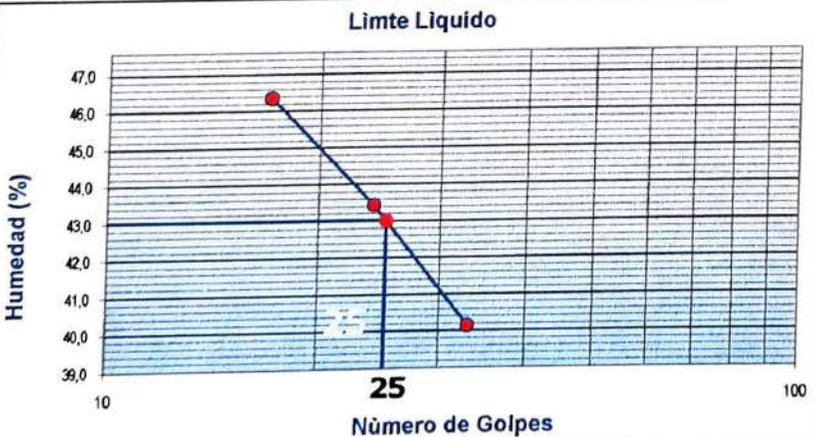
TARA N°	VII	VIII	IX
N° DE GOLPES	33	24	17
TARA+SUELO HUMEDO	31,39	33,36	32,68
TARA+SUELO SECO	27,02	28,16	27,46
PESO DEL AGUA	4,37	5,20	5,22
PESO DE LA TARA	16,14	16,19	16,20
PESO DEL SUELO SECO	10,88	11,97	11,26
HUMEDAD (%)	40,17	43,44	46,36

LIMITE PLASTICO ASTM D-424

TARA N°	E	F
TARA+SUELO HUMEDO	20,70	20,84
TARA+SUELO SECO	19,63	19,74
PESO DEL AGUA	1,07	1,10
PESO DE LA TARA	14,36	14,39
PESO DEL SUELO SECO	5,27	5,35
HUMEDAD (%)	20,30	20,56
HUMEDAD PROMEDIO (%)	20,43	

Limites de Consistencia		
Limite	Liquido	43,02
Limite	Plastico	20,43
Indice	Plastico	22,59

Observaciones	



Yendy...
 Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
 INGENIERO CIVIL
 OIP. 20002



Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI

Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ

Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755

RUC. 10266305856

ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"	
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA	
CALICATA	: N °3 - PROFUNDIDAD (m) : 2,00	
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER	
TIPO DE MUESTRA	: REMOLDEADA	
FECHA	: AGOSTO DEL 2019	

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Lado o diámetro (cm)	6,2	Humedad (%)	47,37
Altura inicial de la muestra (cm)	1,96	Altura final de la muestra (cm)	1,81
Area (cm ²)	38,44	Densidad húmeda final (gr/cm ³)	1,520
Volumen (cm ³)	75,34	Densidad seca final (gr/cm ³)	1,050

APLICACIONES DE CARGA

Velocidad de carga de la maquina (mm/min)	0,25		
Carga normal (KG)	5		
Esp. de muestra	I	II	III
Peso de la Semí Caja Superior (Kg)	4	8	16
Esfuerzo Normal (σ) (Kg/cm ²)	1,00	2,00	4,00
Esf. de corte máximo (σ) (Kg/cm ²)	0,37	0,62	1,09

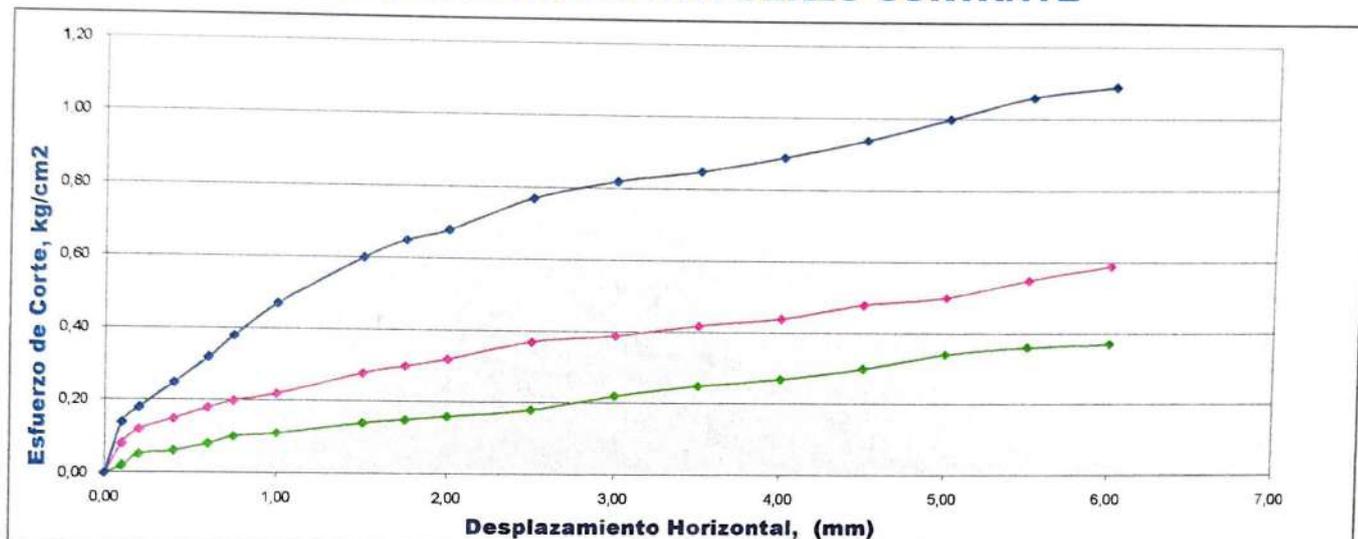
ANGULO DE FRICCION INTERNA (ϕ) = 12,90

COHESION (Kg/cm²) 0,13

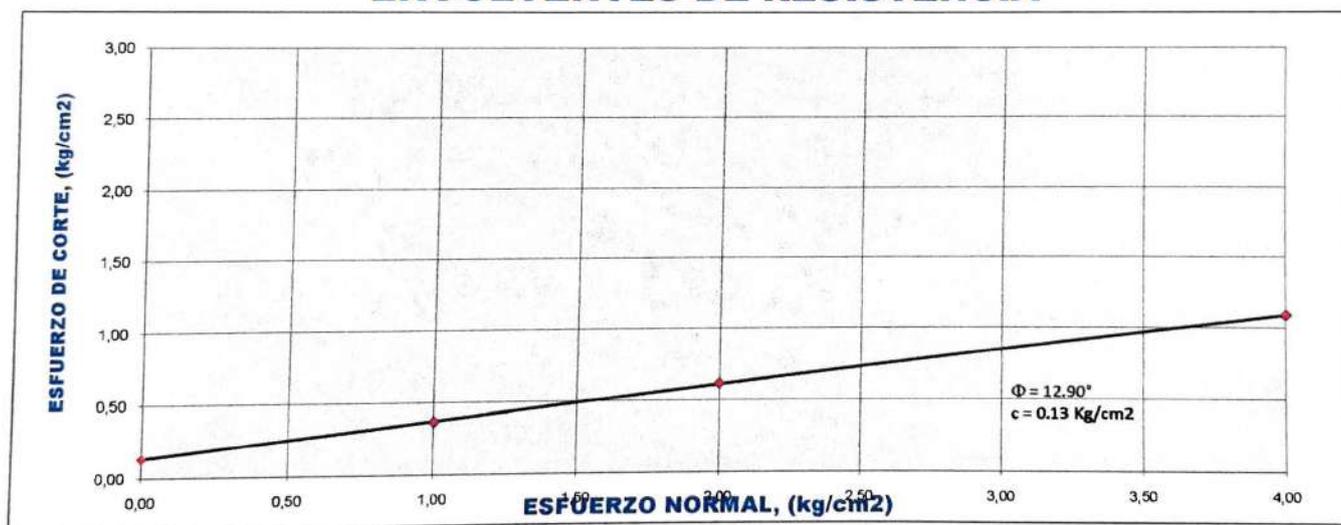
Deformación Tangencial mm	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO	ESFUERZO DE CORTE (Kg/cm ²)	ESFUERZO NORMALIZADO
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,02	0,53	0,08	0,04	0,14	0,04
0,20	0,05	0,56	0,12	0,06	0,18	0,05
0,40	0,06	0,58	0,15	0,08	0,25	0,06
0,60	0,08	0,63	0,18	0,09	0,32	0,08
0,75	0,10	0,64	0,20	0,10	0,38	0,10
1,00	0,11	0,67	0,22	0,11	0,47	0,12
1,50	0,14	0,67	0,28	0,14	0,60	0,15
1,75	0,15	0,69	0,30	0,15	0,65	0,16
2,00	0,16	0,76	0,32	0,16	0,68	0,17
2,50	0,18	0,78	0,37	0,19	0,77	0,19
3,00	0,22	0,82	0,39	0,20	0,82	0,21
3,50	0,25	0,93	0,42	0,21	0,85	0,21
4,00	0,27	0,94	0,44	0,22	0,89	0,22
4,50	0,30	0,96	0,48	0,24	0,94	0,24
5,00	0,34	0,97	0,50	0,25	1,00	0,25
5,50	0,36	0,98	0,55	0,28	1,06	0,27
6,00	0,37	1,00	0,59	0,30	1,09	0,27



APLICACIÓN DEL ESFUERZO CORTANTE



ENVOLVENTES DE RESISTENCIA




Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
INGENIERO CIVIL
CIP. 26682



Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Pavimentos

Estudios Geológicos, Hidrológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos, Impacto Ambiental y Análisis Químicos

Resolución N° 014751-2005/OSD-INDECOPI
Dr. WILFREDO R. FERNÁNDEZ MUÑOZ
Ing. Civil C.I.P. 26682 - Reg. de Consultor N° C2755
RUC. 10266305856

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

TESIS	: "ANÁLISIS GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL TALUD EL NARANJO UBICADO EN EL KM. 130 +250 - KM. 130 + 500, MAGDALENA - CAJAMARCA, 2019"
UBICACIÓN	: DISTRITO MAGDALENA, PROVINCIA CAJAMARCA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA
TESISTA	: BACH. ARAUJO SANCHEZ LUIS KLEIBER
FECHA	: AGOSTO DEL 2019

PROB. N°	Fecha de Rotura	Ø	Identificación	Area secc. Probeta C° Cm2	Lectura del Dial	Resistencia máxima Kg/cm2	Altura (cm)	F'c Kg/cm2
1	28/08/2019	10	ESPECIMEN 1	78,540	23970	305,196	10	305,196

NOTA: LAS PROBETAS FUERON ALCANZADAS POR EL INTERESADO


Dr. Wilfredo R. Fernández Muñoz
INGENIERO CIVIL
CIP. 26682

ANEXO N° 04

MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TALUD UBICADO EN EL Km 130+250 - Km 130+450, SAN JUAN-CAJAMARCA

MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN PARA EL TALUD UBICADO EN EL Km 130+250 - Km 130+450, SAN JUAN-CAJAMARCA, 2019.

En el siguiente documento se propone una solución a la problemática que presenta el talud. Ya que en los últimos años viene siendo afectado por factores geodinámicos externo e internos.

Alcance

Esta propuesta tiene la finalidad de dar soluciones a la construcción y reparación en laderas o taludes con peligro de deslizamiento. Teniendo en cuenta de que es un trabajo de grado no se podrá avanzar más, es decir, no se cuenta con los recursos suficientes para poder intervenir o ayudar a la comunidad, por lo tanto solo se presentarán los métodos y diseño para la obra.

ESTABILIZACION MEDIANTE MURO DE GAVIONES

Esta propuesta busca diseñar un tipo de sostenimiento mediante la ejecución de Muros de Gaviones, el cual garantizará la estabilidad de dicho talud. Para lo cual nos basaremos en los estudios geotécnicos realizados, los cuales nos brindan información acerca del estado en que se encuentra el terreno y las laderas que interactuaran con la carretera, adoptando los parámetros adecuados para el diseño del muro.

El empleo de muro de gaviones es una solución frecuente y rápida de ejecutar, es muy utilizada en el caso de inestabilidades superficiales en materiales arcillosos ya que permiten el drenaje y reforzar el conjunto. (Gonzáles de Vallejo, 2002)

La elección del tipo de sostenimiento se debe a que presenta las siguientes características. (Maccaferri, 2001)

Muro de Gaviones

- Gran flexibilidad que permite que la estructura se adapte a las deformaciones del terreno manteniendo su estabilidad y eficiencia.
- Elevada resistencia debido al gran peso de la obra, la fricción entre las piedras, su resistencia a la compresión y la elevada tensión de tracción que es soportada por la malla (con baja deformación).
- Permeabilidad adecuada que permite el drenaje de las aguas de infiltración eliminando el empuje hidrostático.
- La puesta en obra es extremadamente sencilla y económica y no requiere de equipos sofisticados ni mano de obra especializada.
- Se integra armónicamente con el paisaje, permitiendo el desarrollo de vegetación sin que esto traiga inconvenientes, asegurándose por el avance de la naturaleza la estructura construida.

Diseño de estructura

El muro de gaviones debe ser diseñado con escalones internos y ubicados en el pie del talud, el cual debe contener las siguientes dimensiones:

200m de largo por 6m de ancho y 6m de alto (4200.00 m³ de gavión), en donde cada caja de gavión debe ser de 5m de largo por 1m de ancho y 1m de altura, dividida en 5 diafragmas.

En la base del muro se recomienda usar colchones de 6 metros de largo por 2 metros de ancho y espesor de 0.23 metros (1616.00 m³ de colchón), dividida en 5 diafragmas.

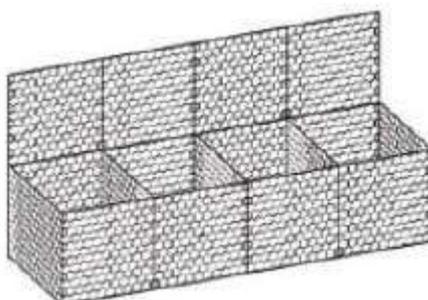


Figura 52. Gavión tipo caja.

El rango de aberturas de las mallas (a x b en la figura 6) deben ser de 8 x 10 cm para las cajas y 6 x 8 cm para los colchones. Esta menor abertura para los colchones se debe a que como estos están, generalmente, ubicados en contacto con agua y sólidos que arrastran los ríos, deben resistir las exigencias físicas y mecánicas como el impacto, la tracción y la abrasión. (Maccaferri, 2001)

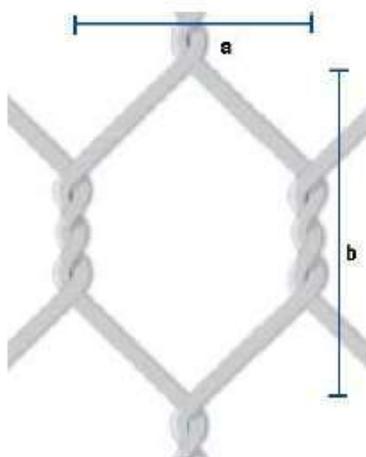


Figura 53. Abertura de malla de acuerdo con las especificaciones NBR 10514 y ASTM 9755.

Las rocas para el relleno deben tener un elevado peso específico, no ser friables, poseer un tamaño mínimo superior a la mayor medida de la malla y uno máximo que se encuentre en el orden del doble del mínimo.

Lo mejor será usar roca de diferentes tamaños, para que su estabilidad por peso y facilidad de drenaje sean satisfactorios a las condiciones de un problema específico.

(Chanquín Gómez, 2004)

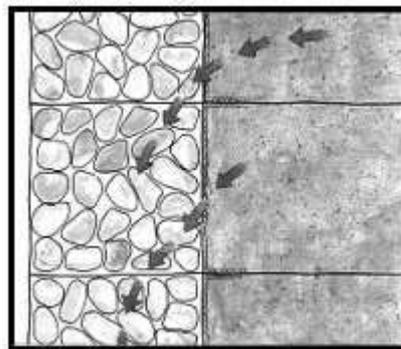


Figura 54. Rocas de caja de gaviones.

El relleno estructural deberá ser constituido por suelo de buena calidad (granular y bien seleccionado), con ángulo de fricción y permeabilidad elevados, y sobretodo que mantenga sus características a lo largo del tiempo. Los valores de granulometría examinados van desde los materiales más finos, igual a 0.02 mm (porcentaje no superior al 10%), a piedras de mayores dimensiones (hasta 200 mm). representa, en general, valores óptimos para el material de relleno. el mismo debe ser compactado en capas de 20 centímetros. (Chanquín Gómez, 2004)

En cuanto a la parte superior para evitar el efecto erosivo del agua de esorrentía sobre sobre el talud se deberá prever cunetas o zanjas de coronación (tendrán una forma

trapezoidal cuyas medidas son: la parte libre como mínimo 1.00 m., en la base 0.50 m.
 y la altura 0.50 m).

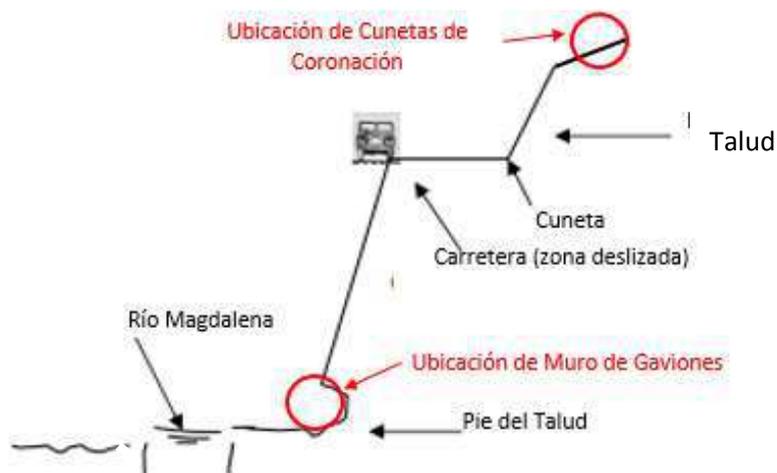


Figura 55. Descripción y ubicación de Métodos a ejecutar en el Talud.

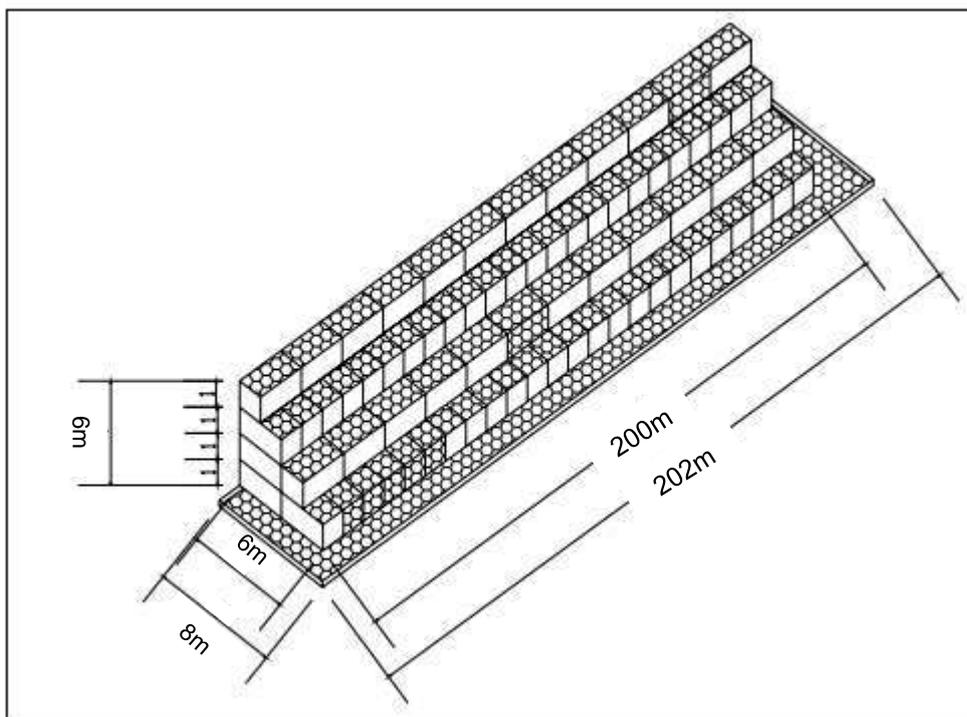


Figura 56. Diseño de Muro de Gaviones a ejecutar en el Talud.