

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Geológica

“COMPORTAMIENTO GEOMECÁNICO DE LOS MACIZOS
ROCOSOS DE LA FORMACIÓN CHIMU DEL KM 2+500 AL
KM 3+450 DE LA AVENIDA LA PAZ, CENTRO POBLADO DE
PARIAMARCA, CAJAMARCA – 2020”.

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO

Autor:

Edwin Segundo Baez Melendez

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación académica.

A mi familia, por ser el pilar más importante y por demostrarnos siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar diferencias de opiniones.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi familia por el apoyo incondicional que me han dado durante mi formación académica.

A mis docentes por brindarme los conocimientos necesarios para realizar este paso en mi formación académica.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES	x
RESUMEN	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Objetivos	16
1.4. Hipótesis	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	17
2.1. Tipo de investigación.....	17
2.2. Unidad de estudio	18
2.3. Población	18
2.4. Muestra (muestreo o selección)	18
2.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	18
2.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	19
CAPÍTULO III. RESULTADOS	22
3.1. Aspectos Generales.....	22
3.2. Marco geológico.....	24
3.3. Análisis de propiedades geomecánicas de macizo rocoso	26
3.4. Análisis de probabilidad de fallas de macizo rocoso	73

3.5.	Zonificación geomecánica del área de estudio	76
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....		78
4.1.	Discusión.....	78
4.2.	Conclusiones.....	82
REFERENCIAS.....		84
ANEXOS		86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Método de investigación.....	17
Tabla 2. Coordenadas UTM de la zona de estudio.	23
Tabla 3. Acceso a la zona de investigación.	24
Tabla 4. Ubicación de la Estación N°01.	26
Tabla 5. Clasificación Ingenieril por Deere (1968).....	27
Tabla 6. Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).....	29
Tabla 7. Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.	30
Tabla 8. Grado de meteorización el macizo rocoso.	34
Tabla 9. Clasificación según la comprensión uniaxial de la roca.....	35
Tabla 10. Espaciamiento de las discontinuidades.....	37
Tabla 11. Condiciones de las discontinuidades.....	38
Tabla 12. Infiltración del agua en las discontinuidades.	38
Tabla 13. Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).	39
Tabla 14. Valoración del RMR.....	40
Tabla 15. Ubicación de la Estación N°01.	42
Tabla 16. Clasificación Ingenieril por Deere (1968).....	43
Tabla 17. Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).....	45
Tabla 18. Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.	46
Tabla 19. Grado de meteorización el macizo rocoso.	50
Tabla 20. Clasificación según la comprensión uniaxial de la roca.....	51
Tabla 21. Espaciamiento de las discontinuidades.....	53

Tabla 22. Condiciones de las discontinuidades.....	54
Tabla 23. Infiltración del agua en las discontinuidades.	54
Tabla 24. Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).	55
Tabla 25. Valoración del RMR.....	56
Tabla 26. Ubicación de la Estación N°03.	58
Tabla 27. Clasificación Ingenieril por Deere (1968).....	59
Tabla 28. Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).....	61
Tabla 29. Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.	62
Tabla 30. Grado de meteorización el macizo rocoso.	66
Tabla 31. Clasificación según la comprensión uniaxial de la roca.....	67
Tabla 32. Espaciamiento de las discontinuidades.....	69
Tabla 33. Condiciones de las discontinuidades.....	70
Tabla 34. Infiltración del agua en las discontinuidades.	70
Tabla 35. Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).	71
Tabla 36. Valoración del RMR.....	72
Tabla 37. Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.....	74
Tabla 38. Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.....	74
Tabla 39. Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación política	22
Figura 2. Accesibilidad hacia la zona de estudio.....	23
Figura 3. Clima, temperatura y precipitación mensual del distrito de Cajamarca. 24	
Figura 4. Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.....	31
Figura 5. Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 01.	32
Figura 6. Análisis de rotura planar en la Estación N° 01, donde se observa un bajo porcentaje en general para la rotura planar, mientras que para la Familia 1, presenta un porcentaje elevado de rotura planar.....	32
Figura 7. Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 01, se observa una probabilidad de rotura en cuña, tomando en cuenta a la Familia 1 y 3, con el Estrato.	33
Figura 8. Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.	41
Figura 9. Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.....	47
Figura 10. Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 02.....	48
Figura 11. Análisis de rotura planar en la Estación N° 02, la rotura planar no tiene ningún tipo de influencia en el macizo rocoso.....	48
Figura 12. Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 02, se observa una probabilidad de bajo porcentaje en cuña.....	49
Figura 13. Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.	57
Figura 14. Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.....	63
Figura 15. Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 03.....	64

Figura 16. Análisis de rotura planar en la Estación N° 03, no existe una rotura planar aparente.	64
Figura 17. Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 03, en su totalidad existe un porcentaje considerable de la rotura en cuña siendo mayor que la anterior estación.	65
Figura 18. Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.	73
Figura 19. Simulación de datos Estación N° 01.	74
Figura 20. Simulación de datos Estación N° 02.	75
Figura 21. Simulación de datos Estación N° 03.	75
Figura 22. Zonificación geomecánica de las estaciones de trabajo.	77

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del RQD	36
Ecuación 2. Cálculo del RQD	52
Ecuación 3. Cálculo del RQD	68

RESUMEN

La investigación consiste en analizar los macizos rocosos conformadas por rocas areniscas de la Formación Chimú ubicada en la carretera a Paríamarca km 2+500 hasta el km 3+450, estos debido a los factores como la sismicidad y precipitación provocan un cambio en su comportamiento geomecánico; por lo que se propusieron el objetivo principal de definir el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos del km 2+500 hasta el km 3+450 avenida la Paz, centro poblado de Paríamarca. Para el desarrollo de este objetivo se calculó su RMR siendo 59 el más alto, y también se calculó su GSI. Por otro lado, se identificaron las familias de discontinuidades y estas fueron analizadas por el software Dips, siendo su análisis a dos tipos de roturas, rotura planar y rotura en cuña. Los resultados de estos análisis fueron un porcentaje más elevado en la Estación N° 01 de rotura planar de 58.00% mientras que en el resto de las estaciones sólo se produjeron roturas en cuña. Finalmente se analizó mediante el software de Swedge obteniendo así valores de Factor de Seguridad siendo en la Estación N° 03 la inestabilidad del macizo rocoso con un valor de 0.28.

Palabras clave: RMR, Inestabilidad, Factor de Seguridad, Geotecnia.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad durante la realización de obras civiles como el desarrollo de carreteras, presas, canteras, graveras, etc. Se han encontrado muchos problemas que afectan las propiedades físicas y geomecánicas de las formaciones geológicas, siendo afectadas por condiciones de precipitación y sismicidad.

Esto se encuentra en la zona de estudio comprendida en Pariamarca y sus alrededores desde el km 2 + 500 hasta el km 3 + 450, donde los afloramientos de rocas areniscosas de la Formación Chimú con un fuerte diaclasamiento y procesos de meteorización que origina una alteración de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, teniendo como consecuencia el diaclasamiento en las rocas las cuales provocan caídas de bloques por las roturas de tipo planar y tipo cuña.

Viltres, et al (2011), Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa, Moa, Cuba. Se diagnostica los diferentes tipos de deslizamientos, determinando los factores causales y condicionantes, como la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc.; en este trabajo se utilizó la metodología cubana de cartografiado para los riesgos por deslizamientos empleando los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.). Se confeccionó el mapa de riesgos por deslizamiento, y determinó los riesgos por deslizamiento del sector este del municipio Moa. En el cual concluye que el sector Este del municipio se caracteriza por una alta complejidad geológica y tectónica,

por la presencia de varios grupos litológicos, diferenciados por su composición litológica y características físico-mecánicas. De acuerdo con sus comportamientos frente a los movimientos de masas, existen litologías más inestables, en este caso las rocas del complejo ofiolítico (gabros, harzburgitas y peridotitas), las cuales se presentan como escamas tectónicas muy fracturadas y representan una peligrosidad muy alta por deslizamientos.

Otros antecedentes, Arteaga (2017). Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena, Cajamarca, Perú. Esta investigación analiza el comportamiento geológico- geotécnico en los taludes de la carretera, y cómo influye en su inestabilidad, se estudiaron 15 taludes, que fueron analizados con el Software Slide v7.0 y para la determinación de los parámetros geomecánicos mediante el análisis en el Software RocData v5.0. El Criterio de Mohr-Coulomb fue utilizado para los taludes de suelos y el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para los taludes de roca. Este estudio concluye diciendo que los factores geológicos-geotécnicos, junto con factores geométricos y topográficos del talud, han sido afectados por procesos geodinámicos externos e internos, que han modificado sus propiedades geomecánicas, influyendo en la inestabilidad de los taludes, que incrementa con factores desencadenantes de saturación y sismicidad.

Continuando con el antecedente Ayala (2017). Análisis de los taludes de la carretera Yauyucán - Cruce Conejo Tranca (km 0+000 – km 6+635), y alternativas de solución Dto. Yauyucán – Prov. Santa cruz –Dpto. Cajamarca, Perú. Tiene como objetivo principal determinar la inestabilidad de los taludes del tramo de la carretera Yauyucan - Cruce Conejo Tranca y definir alternativas de solución. Esto nos

permite obtener una manera de análisis de inestabilidad mediante softwares, los datos obtenidos fueron analizados en softwares RocData v.5.0 y Slide v.7.0 que juntamente con el análisis de factores detonantes, se determinaron 4 zonas críticas.

Dentro de la geomecánica se utiliza la clasificación de Rock Mass Rating - RMR la cual es una estimación de la calidad del macizo, estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros obteniendo valores para cada uno, la sumatoria de estos nos brinda un valor entre 0 a 100, de esta manera se determina y/o estima la calidad del macizo rocoso (Bongiorno, 2009). Para continuar con el análisis geomecánico de los macizos rocoso se aplica también Geological Strength Index (índice Geológico de Resistencia) – GSI con el cual se evalúa la calidad del macizo rocoso de acuerdo con el grado de fracturación, estructura geológica, tamaño de bloques y alteración de las discontinuidades (Hoek, 2013). Estos datos se obtienen de dos parámetros geológicos fundamentales la estructura del macizo rocoso y las condiciones de las discontinuidades.

Lo mencionado anteriormente nos permite cuantificar las características geomecánicas, pero para poder determinar la estabilidad de los macizos rocoso se toman en cuenta a los tipos de roturas que estas presentan, limitando al grado de fracturación por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto a la ladera donde se encuentran ubicados, para esto se consideran dos planos de falla obteniendo una rotura planar y tres planos de fallamiento para una rotura en cuña. Estos datos que se han obtenido se procesan mediante programas especializados, generando una simulación para la cuantificación de estabilidad mediante el Factor de Seguridad. Este Factor de Seguridad nos permite el análisis

de estabilidad de los macizos rocoso y de esta manera calcular la manera en que suceden las roturas y así poder prevenir.

En el Perú se generan grandes pérdidas humanas y monetarias, al momento de ocurrir dos fenómenos naturales, aumento de precipitaciones y movimientos sísmicos, los cuáles afectan directamente a las poblaciones aledañas. García, (2019) en una publicación del diario El Comercio, comenta que, en la capital de Perú, Lima, no existe un suelo donde las personas puedan asentarse, debido al aumento de las precipitaciones trayendo como consecuencias afectaciones a la ciudad dejando 1758 viviendas colapsadas 916 inhabitables y 10250 afectadas, y de igual manera en el interior del país. En Cajamarca existe varias zonas que pueden ser afectadas por estos factores de precipitaciones y movimientos sísmicos, provocando deslizamientos y fenómenos naturales, los cuales han afectado viviendas y carreteras en los alrededores de Cajamarca. Entre estas zonas afectadas se tiene la carretera a Paríamarca, la cual es la zona de estudio que se está analizando en esta investigación.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles es el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos de la Formación Chimu del km 2+500 hasta el km 3+450 avenida la Paz, centro poblado de Paríamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Definir el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos del km 2+500 hasta el km 3+450 avenida la Paz, centro poblado de Paríamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar las propiedades geomecánicas de los macizos rocosos mediante el uso de las clasificaciones Rock Mass Rating y Geological Strength Index.

Analizar la probabilidad de falla de los macizos rocosos mediante el programa Dips, RocData, Swedge.

Elaborar un mapa geomecánico de la zona de investigación,

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El comportamiento geomecánico de los macizos rocosos del km 2+500 hasta el km 3+450 avenida la Paz, centro poblado de Paríamarca. Se encuentra afectado por la precipitación y la sismicidad de la zona de estudio, siendo esta que alteran la roca produciendo una alteración física y química en el macizo rocoso, y finalmente una inestabilidad de los macizos rocosos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Enfoque de investigación: El enfoque de investigación es cualitativo, porque se explora los fenómenos a profundidad, se conoce los ambientes naturales y los resultados se extraen de una base de datos.

Nivel de investigación: El nivel de investigación es descriptivo, porque se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

Diseño de investigación: El nivel de investigación es no experimental, porque se busca explicar los procesos longitudinales o evolutivos cuyo proceso analiza cambios a través del tiempo que originaron los fenómenos observados.

Tabla 1

Método de investigación

CRITERIO	METODOLOGÍA
Enfoque	Cualitativo
Nivel	Descriptivo
Diseño	No experimental

Fuente: Modificado (Sampieri, 2014)

RMR, GSI, rotura de tipo planar y de tipo cuña.

2.3. Población

Los macizos rocosos de la avenida la Paz.

2.4. Muestra (muestreo o selección)

Macizos rocosos de la formación Chimú del km 2+500 hasta el km 3+450.

2.5. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

Se ha hecho uso de la observación directa como técnica para la recolección de datos, esta consiste básicamente en observar el objeto de estudio dentro de una situación particular, todo esto se hace sin necesidad de intervenir o alterar el ambiente en el que se desenvuelve el objeto. El instrumento que se ha usado para la técnica consiste en un cuaderno de campo; donde a través del mismo se ha establecido un protocolo de observación, donde a simple vista se anotarán todos los fenómenos presentes in situ (características físicas de los taludes, topografía, relieve, etc.) la ficha de observación geomecánica y el plano topográfico han sido otros instrumentos que ayudaron en el fin mencionado.

En segundo plano, se realizó un análisis documental como técnica de recolección de datos, esta llevada a través de matrices de consistencia en donde se va clasificando la información de acuerdo a la importancia que pueda tener para el estudio; dentro de esta metodología se albergan tesis, artículos, revistas científicas, entre otras fuentes para complementar el estudio.

2.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Las técnicas que se emplearán para la recolección de datos serán el análisis documental, la observación, y la medición en campo de las rocas, los instrumentos estarán constituidos por fichas y formatos como: ficha para descripción de litología, de RMR, RQD. Cabe señalar que, para realizar la investigación, se empleará tres etapas: la primera etapa de gabinete, donde se recolectará las referencias bibliográficas, la segunda etapa de campo, donde se hará la toma de datos y la etapa final de gabinete, que consiste en el procesamiento de datos.

Particularmente el análisis consiste básicamente en dar respuesta a los objetivos o hipótesis planteadas a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes. Para plantear el análisis es conveniente plantear un plan de análisis o lo que se conoce como un plan de explotación de datos. En el que se suele detallar de manera flexible cómo vamos a proceder al enfrentarnos a los datos, cuáles serán las principales líneas de análisis, qué orden vamos a seguir, y qué tipo de pruebas o técnicas de análisis aplicaremos sobre los datos. La interpretación, a diferencia del análisis, tiene un componente más intelectual y una función explicativa. Su misión es buscar un significado al resultado del análisis mediante su relación con

todo aquello que conocemos sobre el problema, de manera que aportamos una significación sociológica a los hallazgos encontrados en el análisis, confirmando, modificando o realizando nuevos aportes a la teoría previa sobre ese problema.

2.6.1. Procedimiento

Para la elaboración de este proyecto, se ejecutaron 3 etapas básicas, las cuales están clasificadas en: etapa de pre campo o gabinete 1, etapa de campo y etapa de post campo o gabinete 2.

2.6.1.1. Etapa de pre campo o gabinete 1

En esta etapa se realizó la revisión, selección y recopilación de información, considerando otras tesis como antecedentes, teorías y revistas relacionadas a las palabras clave de la investigación.

2.6.1.2. Etapa de campo

En la etapa de campo se procedió a la toma de tres muestras de la zona de estudio. Así mismo se pudo saber que las tres muestras tomadas se ubicaron en lugares estratégicos y se realizaron los ensayos in situ para recopilar datos de RMR, GSI y RQD, los cuales nos permitirían clasificar a los macizos rocosos. También se tomaron medidas de los taludes para ser procesados y obtener el análisis del factor de seguridad.

2.6.1.3. Etapa post campo o gabinete 2

Terminadas las etapas antes mencionadas se procedió a realizar el trabajo de gabinete que consistió en hacer el procesamiento de los datos obtenidos; así mismo, se los clasifíco, analizo e interpreto de tal manera que se dio paso a la redacción del informe final

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aspectos Generales

3.1.1. Ubicación Geográfica

Se encuentra ubicada al SE de la ciudad de Cajamarca. Políticamente la zona de estudio se encuentra en el Departamento de Cajamarca, Provincia de Cajamarca y Distrito de Cajamarca.

Figura 1

Ubicación política

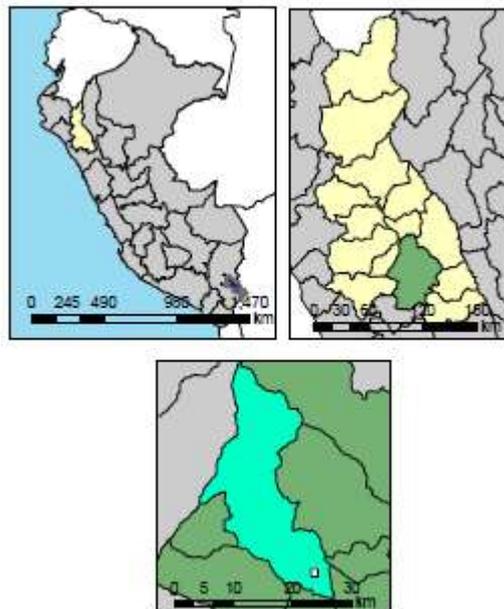


Tabla 2

Coordenadas UTM de la zona de estudio.

VÉRTICE	ESTE	NORTE
1	778000	9203000
2	778000	9201900
3	777000	9201900
4	777000	9203000

3.1.2. Accesibilidad

Para acceder a la zona es de manera sencilla, se utiliza la Av. La Paz hacia Pariamarca deteniéndose en el camino donde se observará la zona de estudio.

Figura 2

Accesibilidad hacia la zona de estudio.

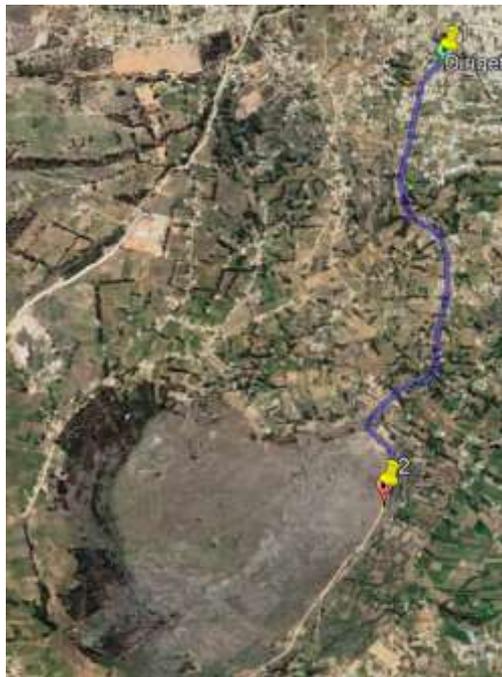


Tabla 3

Acceso a la zona de investigación.

TRAMO	TIEMPO	TIPO
Av. La Paz - Pariamarca	37 min	Trocha carrozable

3.1.3. Clima

En el distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca se encuentra una variación de temperatura entre 14°C y 5°C, teniendo una precipitación muy baja entre los meses de julio y agosto, donde no hay saturación en los macizos rocosos. Por otro lado, el mes donde se satura el macizo rocoso es en marzo. Por lo que en este mes el riesgo de inestabilidad aumenta debida a la alta saturación en los macizos rocosos.

Figura 3

Clima, temperatura y precipitación mensual del distrito de Cajamarca.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	14°C	14°C	14°C	14°C	15°C	15°C	16°C	16°C	16°C	15°C	15°C	14°C
Noche	7°C	8°C	8°C	7°C	7°C	6°C	5°C	6°C	7°C	7°C	7°C	7°C
Precipitación	155 mm	162 mm	211 mm	104 mm	57 mm	26 mm	10 mm	19 mm	45 mm	107 mm	106 mm	115 mm

Fuente: SENAMHI, 2016.

3.2. Marco geológico

3.2.1. Formación Chimú (Ki – Chim)

Aflora la Formación Chimú en la parte inferior y superior del cerro Carambayo, a un costado de la carretera al Centro Poblado Pariamarca que se encuentra a unos 30

minutos de la ciudad Cajamarca. Litológicamente se encuentra compuesta por areniscas de grano medio y fino en la parte superior, y presencia de limolitas en poca cantidad. Tiene una meteorización moderada con una decoloración leve debida a la presencia de óxidos en el macizo rocoso, se encuentra laderas muy empinadas compuestas al 100% de areniscas provenientes de la Formación Chimú.

Fotografía 1

Formación Chimú que se encuentra en la carretera a Paríamarca.



3.3. Análisis de propiedades geomecánicas de macizo rocoso

3.3.1. Estación N° 01

Fotografía 2

Afloramiento de rocas areniscas, Formación Chimú.



Tabla 4

Ubicación de la Estación N°01.

FORMACIÓN	CHIMÚ	
COORDENADAS WGS 84	NORTE	9202689
	ESTE	777188
	COTA	2830 m.s.n.m.

3.3.1.1. Litología

Clasificación Genética: Roca sedimentaria.

Clasificación Litológica: Arenisca moderadamente meteorizada

Clasificación Ingenieril por Deere (1968): Se determina de acuerdo a la resistencia a la comprensión uniaxial en base a pruebas manuales. Dando como resultado una roca de Clase C – Resistencia Media.

Tabla 5

Clasificación Ingenieril por Deere (1968).

CLASE	DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN UNIAXIAL		TIPOS DE ROCAS
		PSI	Mpa	
A	RESISTENCIA MUY ALTA	> 32 000	220	CUARCITAS, DIABASAS, MAYORÍA DE ROCAS ÍGNEAS. ARENISCAS FRÁGILMENTE CEMENTADAS. LUTITAS RESISTENTES MAYORÍA DE LAS CALIZAS. CIERTAS DOLOMITAS
B	RESISTENCIA ALTA	16 000 - 32 000	110 a 220	ALGUNAS LUTITAS. ARENISCAS Y CALIZAS POROSAS. ESQUISTOS Y ROCAS METAMÓRFICAS.
C	RESISTENCIA MEDIA	8 000 - 16 000	55 a 110	ROCAS POROSAS DE BAJA DENSIDAD. ARENISCAS DELEZNABLES. TUFAS Y LUTITAS ARCILLOSAS. ROCAS METEORIZADAS Y QUÍMICAMENTE ALTERADAS DE CUALQUIER LITOLOGÍA
D	RESISTENCIA BAJA	4 000 - 8 000	28 a 55	
E	RESISTENCIA MUY BAJA	< 4 0000	< 28	

3.3.1.2. Meteorización

Meteorización Física: El macizo rocoso presenta una moderada erosión debido a la dureza y resistencia que presenta la roca.

Meteorización Química: Se encuentra oxidación asociada a hematita y limolita lo que brinda a la roca una coloración rojiza y amarillenta. Por otro lado, se encuentra

la presencia de arcillas debido a un recubrimiento de la ladera con una capa de material cuaternario, observándose una coloración beige.

Fotografía 3

Macizos rocos donde se aprecian la meteorización la cual afecta en varias zonas del macizo rocoso.



En la descripción de meteorización según Duque – Escobar (1998) se puede ubicar en un término de moderadamente meteorizada, debido a la oxidación y disolución que solo se encuentra a manera de pátinas.

Tabla 6

Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
SANA	NO EXISTE EVIDENCIA DE CUALQUIER ALTERACIÓN QUÍMICA O MECÁNICA
LIGERAMENTE METEORIZADA	LIGERA DECOLORACIÓN EN LA SUPERFICIE. DE SER POSIBLE DEBE MENCIONARSE EL MINERAL AL QUE ESTÁ ASOCIADA DICHA DECOLORACIÓN
MODERADAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN EVIDENTE. SUPERFICIE MOLEADA Y ALTERADA, LLEGANDO INCLUSO A PRESENTARSE POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA ROCA.
ALTAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN TOTAL. LA ALTERACIÓN DE LA ROCA SE EXTIENDE POR CASI TODO EL BLOQUE O PIEZA CONSIDERADA.
DESINTEGRADA	LA ROCA SE HA METEORIZADO A LA CONDICIÓN DE UN SUELO, CON VESTIGIOS DE LA TEXTURA ORIGINAL. LA ROCA ES FRIABLE PERO LOS GRANOS MINERALES NO SE HAN DESCOMPUESTO.

3.3.1.3. Características de resistencia

Para obtener el rango de resistencia, se hicieron pruebas manuales sobre la roca intacta, la cual primero fue limpiada de cualquier rastro de meteorización dando como resultado una roca de grado: R4 cuyo rango de resistencia esta entre 50 – 100 Mpa.

Tabla 7

Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.

GRADO	DESCIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)
S1	ARCILLA MUY BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL PUÑO	< 0.025
S2	ARCILLA BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR	0.025 - 0.05
S3	ARCILLA MEDIA	PENETRADAS VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR, USAN ESFUERZO MODERADO	0.05 - 0.10
S4	ARCILLA SEMIDURA	DEJA FÁCILMENTE HENDIDURA POR LA ACCIÓN DEL DEDO PULGAR, PERO PENETRA SOLAMENTE CON GRAN ESFUERZO	0.10 - 0.25
S5	ARCILLA DURA	MELLADA FÁCILMENTE POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 0.50
S6	ARCILLA MUY DURA	MELLADA CON DIFICULTAD POR LA UÑA DEL PULGAR	0.50 - 1
R0	ROCA EXTREMADAMENTE DÉBIL	MELLADA POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 1
R1	ROCA MUY DÉBIL	SE DSGREGA POR GOLPES FUERTES DE LA PUNTA DE LA PIQUETA; PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA	1 - 5
R2	ROCA DÉBIL	PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA, CON DIFICULTADA	5 - 25
R3	ROCA MEDIANAMENTE RESISTENTE	NO PUEDE SER RAYADA O DESCONCHADA POR NAVAJA; LA MUESTRA PUEDE SER FRACTURADA POR UN GOLPE FUERTE DE LA PUNTA DE LA PIQUETA	25 - 50
R4	ROCA FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE MÁS DE UN GOLPE DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	50 - 100
R5	ROCA MUY FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE VARIOS GOLPES DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	100 - 250
R6	ROCA EXTREMADAMENTE RESISTENTE	LA MUESTRA PUEDE SER SOLAMENTE ASTILLADA POR LA PIQUETA	> 250

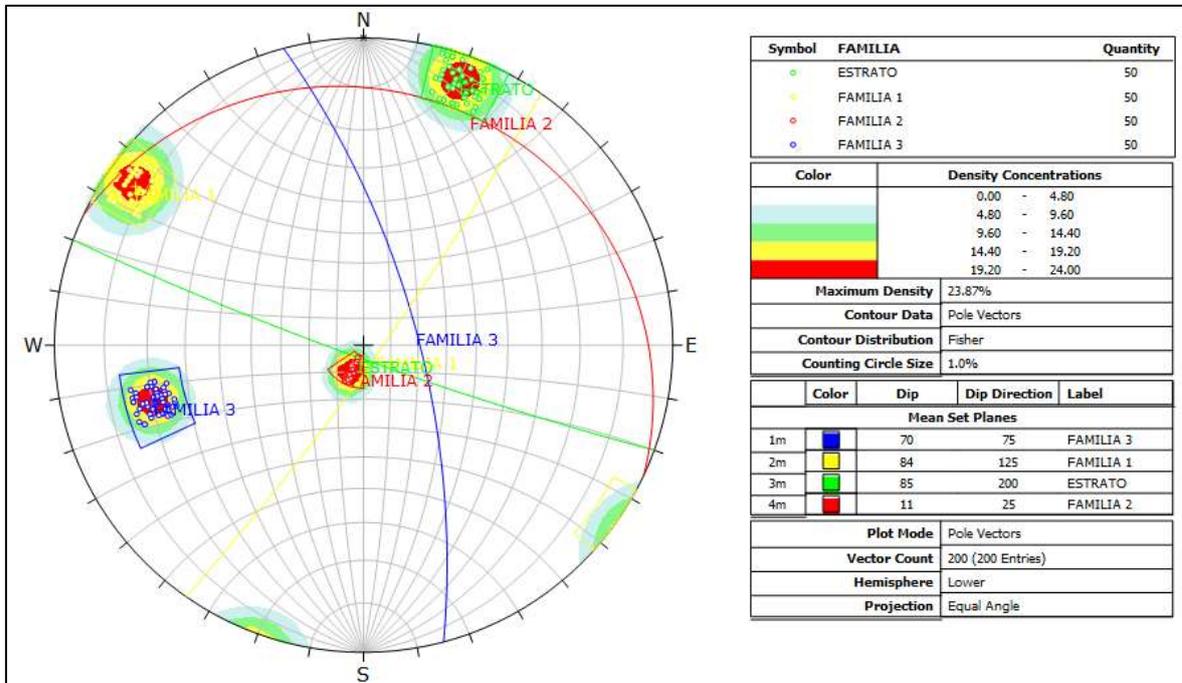
3.3.1.4. Descripción de las discontinuidades – orientación

El macizo rocoso presenta familias de discontinuidades, las cuales fueron analizadas y encontramos 3 sistemas o familias (Familia 1, Familia 2, Familia 3). Siendo analizadas por ayuda del software Dips v6.0.

- Diagrama de Fisher densidad de polos y planos principales

Figura 4

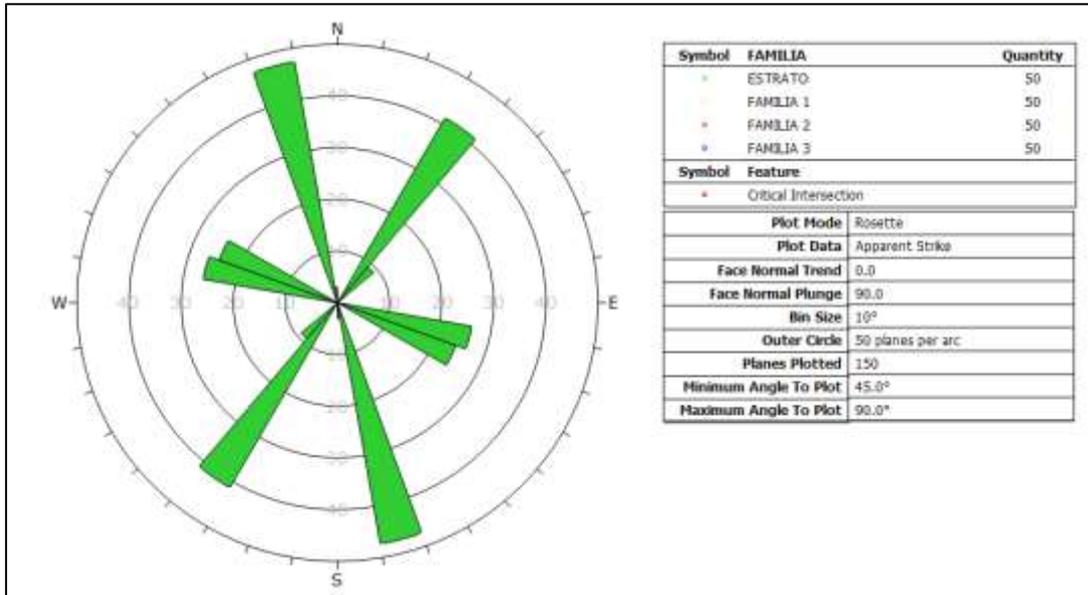
Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.



- Diagrama de rosas estructurales.

Figura 5

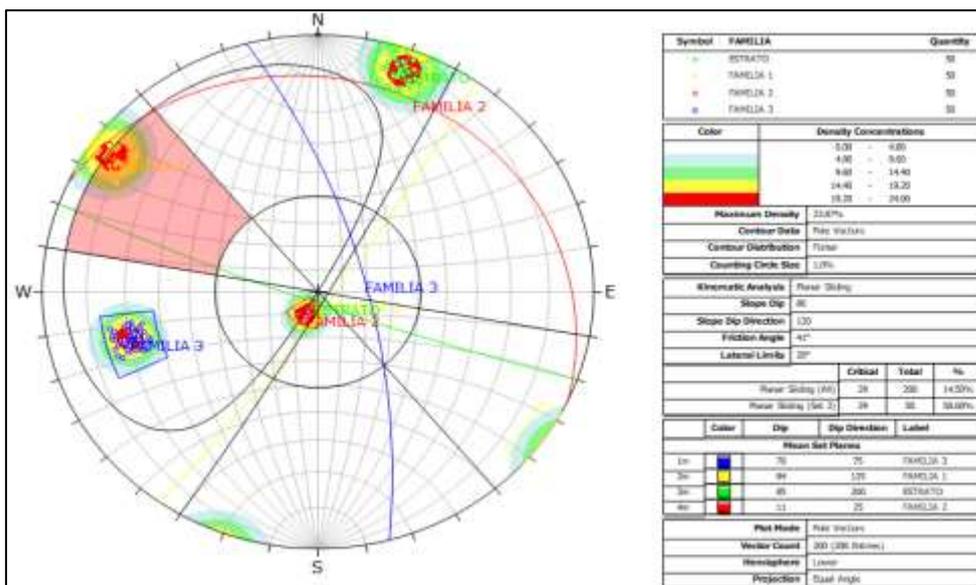
Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 01.



- Análisis de rotura planar.

Figura 6

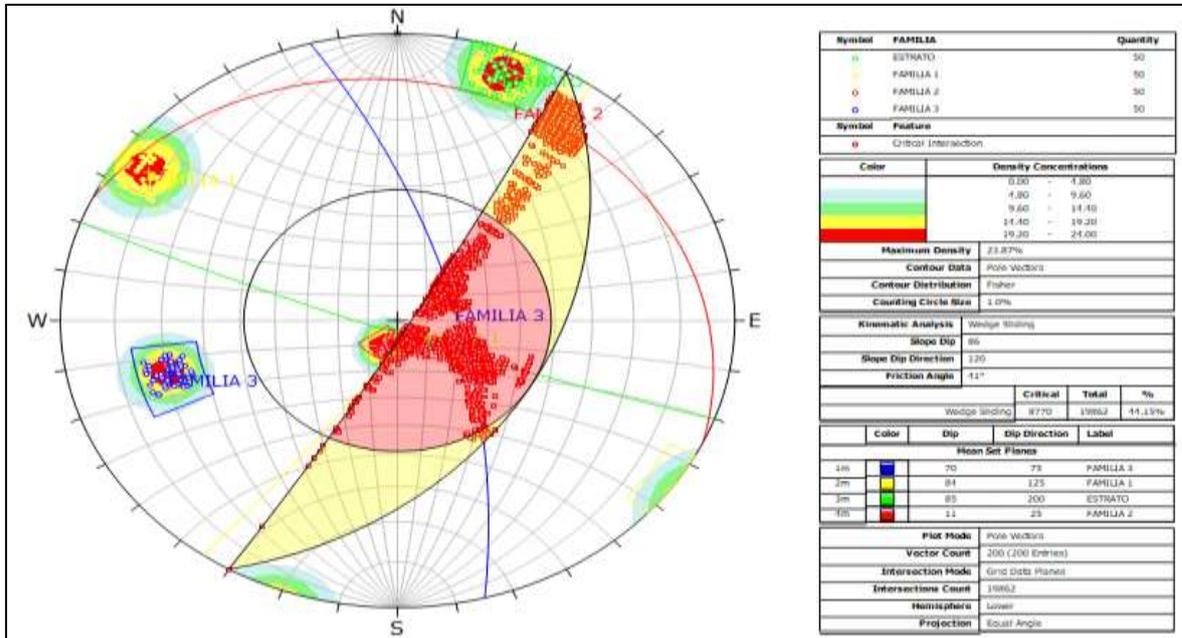
Análisis de rotura planar en la Estación N° 01, donde se observa un bajo porcentaje en general para la rotura planar, mientras que para la Familia 1, presenta un porcentaje elevado de rotura planar.



- Análisis de rotura en cuña

Figura 7

Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 01, se observa una probabilidad de rotura en cuña, tomando en cuenta a la Familia 1 y 3, con el Estrato.



- Abertura

La abertura de las diaclasas varía entre 1 y 2 mm, su relleno es relativamente duro debido a que es sílice, en algunas partes se encuentra relleno de óxidos.

- Rugosidad

El macizo rocoso es ligeramente rugoso.

- Agua

Dependiendo de la temporada en la que nos encontramos, en verano es relativamente seco, pero en épocas de lluvia es húmedo a mojado.

3.3.1.5. Grado de meteorización del macizo rocoso

Tabla 8

Grado de meteorización el macizo rocoso.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
ROCA FRESCA	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies	I
LEVEMENTE METEORIZADA	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización o puede estar externamente algo más débil. Que en su condición fresca.	II
MODERADAMENTE METEORIZADA	Menos de la mitad de la roca de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
MUY METEORIZADA	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
COMPLETAMENTE METEORIZADA	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
SUELO RESIDUAL	Toda la roca esta convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

3.3.1.6. Parámetros para la clasificación resistencia a la compresión

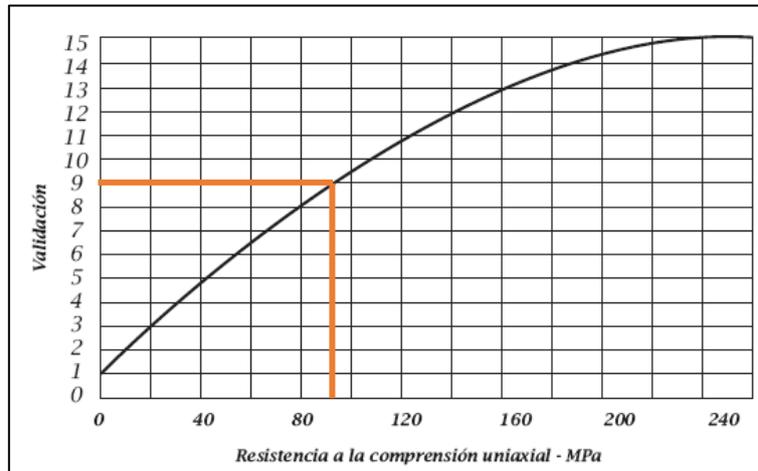
uniaxial de la roca

Tabla 9

Clasificación según la compresión uniaxial de la roca.

CLASE	RESISTENCIA	RESIST. UNIAXIAL Mpa	CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneiss, Granito, Curacita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneiss, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Silstone.
R2	Débil	5.0 - 25		Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del partillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0	**	Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Valoración de la resistencia a la compresión uniaxial



Valoración: 9

3.3.1.7. Índice de calidad de la roca (RQD)

Ecuación 1

Cálculo de RQD

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades}}{m}$$

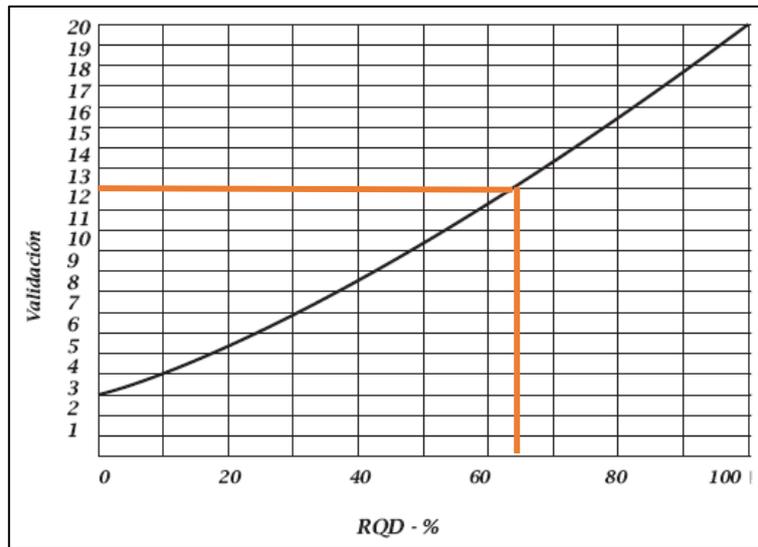
Según los datos obtenidos de campo:

$$\lambda = \frac{37}{3} = 12.33$$

$$RQD = 100 e^{-0.1 \times 12.33} (0.1 \times 12.33 + 1)$$

$$RQD = 65.22\%$$

Valoración del índice de calidad de la roca (RQD)



Valoración: 13

3.3.1.8. Espacio de las discontinuidades

Tabla 10

Espaciamiento de las discontinuidades.

FAMILIA	DIP	DIP DIRECCIÓN	ESPACIADO (m) promedio
Estratificación	85	200	0.2 – 0.06
1	84	125	0.2 – 0.06
2	11	25	0.2 – 0.06
3	70	75	0.2 – 0.06
VALORACIÓN			10

3.3.1.9. Condición de las discontinuidades

Tabla 11

Condiciones de las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN
Longitud de las disc. (m)	<1	1 – 3 m	1 – 3 m	<1	6
Abertura (mm)	>5	2 – 2.5	Ninguno	>5	2
Rugosidad	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	Blando < 5 mm	Ninguno	Blando < 5 mm	2
Meteorización	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada	3
TOTAL					16

3.3.1.10. Condición de infiltración de agua

Tabla 12

Infiltración del agua en las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN
Agua freática (estado general)	Húmedo	Lig. Húmedo	Lig. Húmedo	Seco	11

3.3.1.11. Cuadro de clasificación según Bieniaswki (Rock Mass Rating)

Tabla 13

Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).

PARÁMETRO		ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES					
1	RESISTENCIA DE LA ROCA SANA	CARGA PUNTUAL Mpa Kg/cm2 (aprox.)	> 10 100	4 - 10 40 - 100	2 - 4 20 - 40	1 - 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple
		COMPRESIÓN SIMPLE Mpa Kg/cm2 (aprox.)	> 250 > 2 500	100 - 250 1 000 - 2 500	50 - 100 500 - 1 000	25 - 50 250 - 500	5 - 1 25 - 5 50 - 10 - 10 250 - 50
	VALORACIÓN		15	12	9	4	2 1 0
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
	VALORACIÓN		20	17	13	8	3
3	SEPARACIÓN DE DISCONTINUIDADES		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m
	VALORACIÓN		20	15	10	8	5
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES (VER GUÍA ESPECIAL)		Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Borde sano y duro	Ligeramente rugosos Abertura <1mm Bordes duros	Ligeramente rugosos Abertura <1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa continua
	VALORACIÓN		30	25	16	10	0
5	PRESENCIA DE AGUA	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w y σ_1	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
	VALORACIÓN		15	11	7	4	0

$$RMR = 9 + 13 + 10 + 16 + 11 = 59$$

Tabla 14.

Valoración del RMR.

VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
CLASES	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

3.3.1.12. GSI (Geological Strength Index)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (GEOLOGICA STRENGTH INDEX)	CONDICIÓN DEL FRENTE				
	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENAS (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
 BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar, bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
 BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
 BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos			40	30	
 FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos.				20	10

Estructura del macizo rocoso: Bloques y capas

Condición del frente o de la superficie: Buena

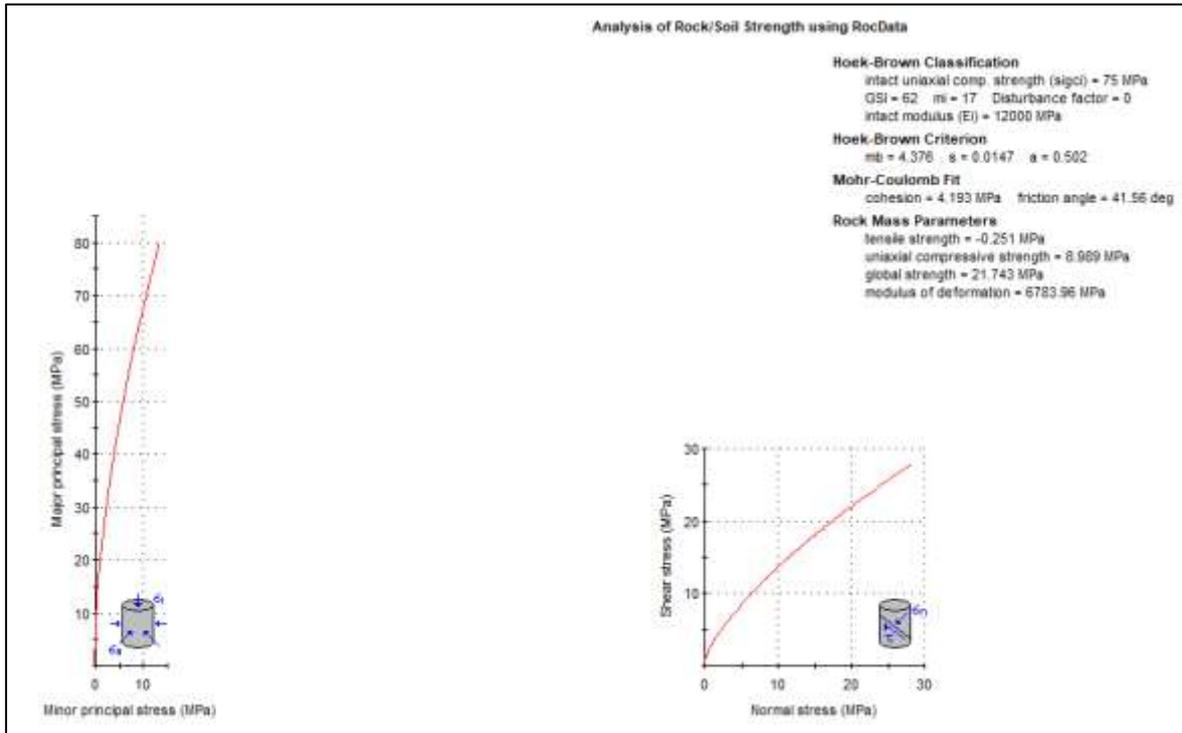
Valoración Correspondiente: 62

3.3.1.13. Resistencia y deformabilidad del macizo rocoso criterio de rotura de

Hoek y Brown.

Figura 8

Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.



Fotografía 4

Afloramiento de rocas areniscas en la Estación N° 02, Formación Chimú.



Tabla 15

Ubicación de la Estación N°01.

FORMACIÓN	CHIMÚ	
COORDENADAS WGS 84	NORTE	9202788
	ESTE	777305
	COTA	2823 m.s.n.m.

3.3.2.1. Litología

Clasificación Genética: Roca sedimentaria.

Clasificación Litológica: Arenisca moderadamente meteorizada

Clasificación Ingenieril por Deere (1968): Se determina de acuerdo a la resistencia a la comprensión uniaxial en base a pruebas manuales. Dando como resultado una roca de Clase C – Resistencia Media.

Tabla 16

Clasificación Ingenieril por Deere (1968).

CLASE	DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN UNIAXIAL		TIPOS DE ROCAS
		PSI	Mpa	
A	RESISTENCIA MUY ALTA	> 32 000	220	CUARCITAS, DIABASAS, MAYORÍA DE ROCAS ÍGNEAS. ARENISCAS FRÁGILMENTE CEMENTADAS. LUTITAS RESISTENTES MAYORÍA DE LAS CALIZAS. CIERTAS DOLOMITAS
B	RESISTENCIA ALTA	16 000 - 32 000	110 a 220	ALGUNAS LUTITAS. ARENISCAS Y CALIZAS POROSAS. ESQUISTOS Y ROCAS METAMÓRFICAS.
C	RESISTENCIA MEDIA	8 000 - 16 000	55 a 110	ROCAS POROSAS DE BAJA DENSIDAD. ARENISCAS DELEZNABLES. TUFAS Y LUTITAS ARCILLOSAS. ROCAS METEORIZADAS Y QUÍMICAMENTE ALTERADAS DE CUALQUIER LITOLOGÍA
D	RESISTENCIA BAJA	4 000 - 8 000	28 a 55	
E	RESISTENCIA MUY BAJA	< 4 0000	< 28	

Meteorización Física: El macizo rocoso presenta una moderada a alta erosión, esto causado por los agentes externos del agua y el aire, estando recubierto con un poco de suelo y cobertura vegetal.

Meteorización Química: Existe oxidación asociada a la hematita, dando una coloración rojiza a algunos sectores de macizo. También se encuentra la limolita que brinda una coloración amarillenta. Por la presencia del suelo se encuentra arcillas recubriendo parcialmente a este macizo rocoso.

Fotografía 5

Se observa la cobertura vegetal y la coloración que otorga la hematita y la limolita.



En la descripción de meteorización según Duque – Escobar (1998) se puede ubicar en un término de moderadamente meteorizada, debido a la oxidación y disolución que solo se encuentra a manera de pátinas.

Tabla 17

Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
SANA	NO EXISTE EVIDENCIA DE CUALQUIER ALTERACIÓN QUÍMICA O MECÁNICA
LIGERAMENTE METEORIZADA	LIGERA DECOLORACIÓN EN LA SUPERFICIE. DE SER POSIBLE DEBE MENCIONARSE EL MINERAL AL QUE ESTÁ ASOCIADA DICHA DECOLORACIÓN
MODERADAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN EVIDENTE. SUPERFICIE MOLEADA Y ALTERADA, LLEGANDO INCLUSO A PRESENTARSE POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA ROCA.
ALTAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN TOTAL. LA ALTERACIÓN DE LA ROCA SE EXTIENDE POR CASI TODO EL BLOQUE O PIEZA CONSIDERADA.
DESINTEGRADA	LA ROCA SE HA METEORIZADO A LA CONDICIÓN DE UN SUELO, CON VESTIGIOS DE LA TEXTURA ORIGINAL. LA ROCA ES FRIABLE PERO LOS GRANOS MINERALES NO SE HAN DESCOMPUESTO.

3.3.2.3. Características de resistencia

Para obtener el rango de resistencia, se hicieron pruebas manuales sobre la roca intacta, la cual primero fue limpiada de cualquier rastro de meteorización dando como resultado una roca de grado: R4 cuyo rango de resistencia esta entre 50 – 100 Mpa.

Tabla 18

Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.

GRADO	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)
S1	ARCILLA MUY BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL PUÑO	< 0.025
S2	ARCILLA BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR	0.025 - 0.05
S3	ARCILLA MEDIA	PENETRADAS VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR, USAN ESFUERZO MODERADO	0.05 - 0.10
S4	ARCILLA SEMIDURA	DEJA FÁCILMENTE HENDIDURA POR LA ACCIÓN DEL DEDO PULGAR, PERO PENETRA SOLAMENTE CON GRAN ESFUERZO	0.10 - 0.25
S5	ARCILLA DURA	MELLADA FÁCILMENTE POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 0.50
S6	ARCILLA MUY DURA	MELLADA CON DIFICULTAD POR LA UÑA DEL PULGAR	0.50 - 1
R0	ROCA EXTREMADAMENTE DÉBIL	MELLADA POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 1
R1	ROCA MUY DÉBIL	SE DESGREGA POR GOLPES FUERTES DE LA PUNTA DE LA PIQUETA; PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA	1 - 5
R2	ROCA DÉBIL	PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA, CON DIFICULTADA	5 - 25
R3	ROCA MEDIANAMENTE RESISTENTE	NO PUEDE SER RAYADA O DESCONCHADA POR NAVAJA; LA MUESTRA PUEDE SER FRACTURADA POR UN GOLPE FUERTE DE LA PUNTA DE LA PIQUETA	25 - 50
R4	ROCA FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE MÁS DE UN GOLPE DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	50 - 100
R5	ROCA MUY FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE VARIOS GOLPES DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	100 - 250
R6	ROCA EXTREMADAMENTE RESISTENTE	LA MUESTRA PUEDE SER SOLAMENTE ASTILLADA POR LA PIQUETA	> 250

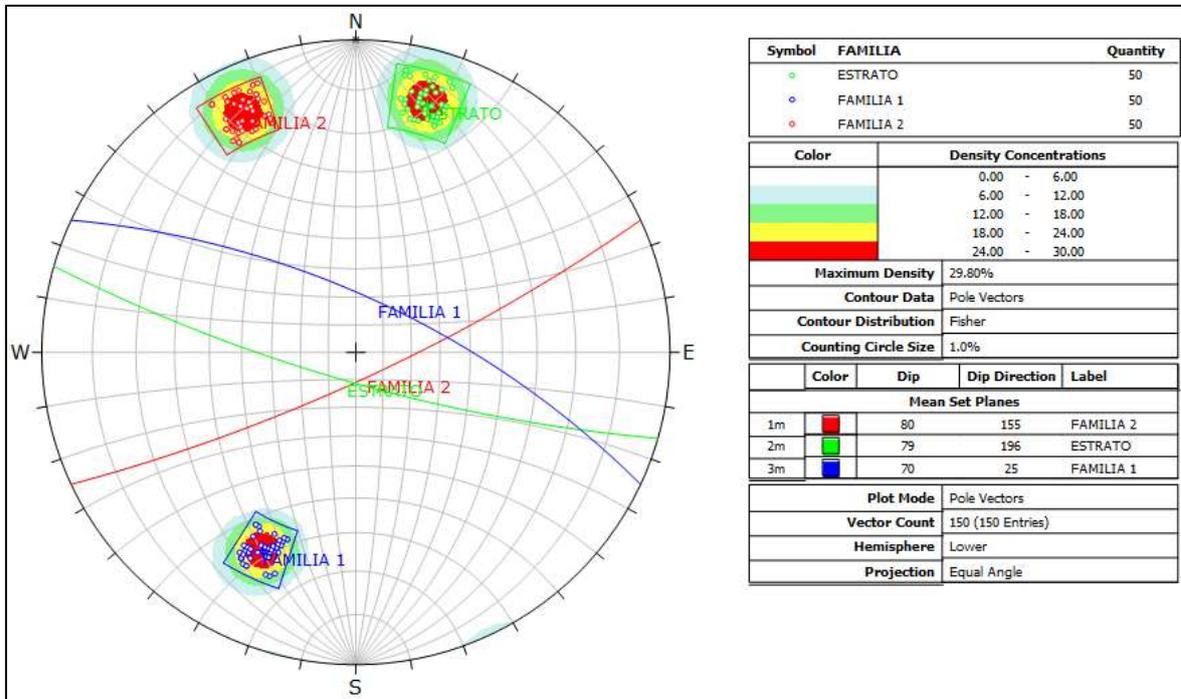
3.3.2.4. Descripción de las discontinuidades – orientación

El macizo rocoso presenta familias de discontinuidades, las cuales fueron analizadas y encontramos 2 sistemas o familias (Familia 1, Familia 2). Siendo analizadas por ayuda del software Dips v6.0.

- Diagrama de Fisher densidad de polos y planos principales

Figura 9

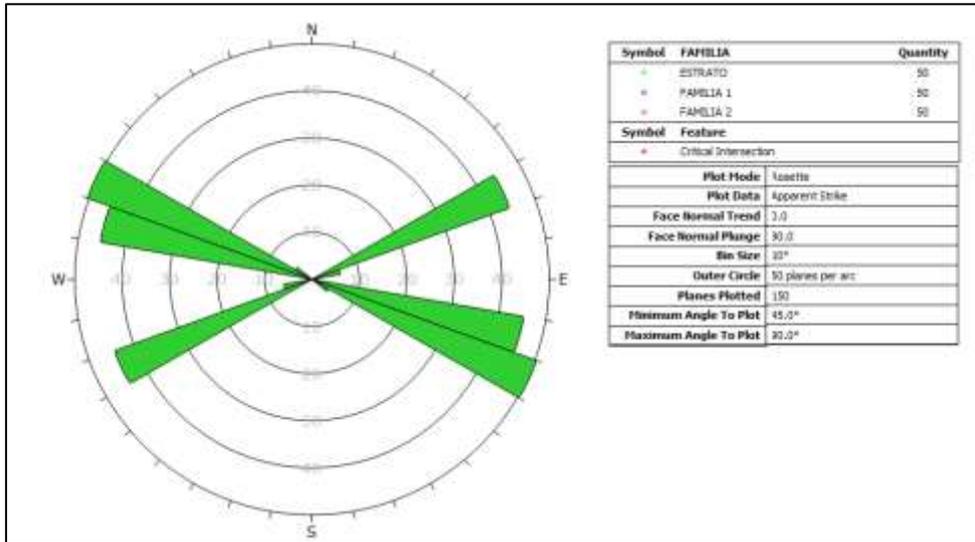
Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.



- Diagrama de rosas estructurales.

Figura 10

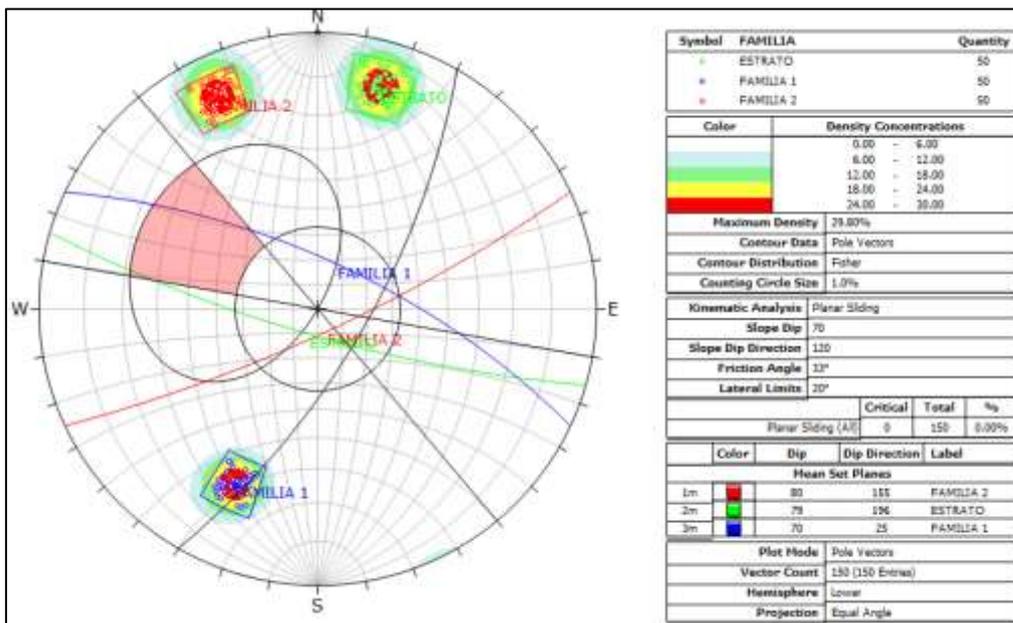
Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 02



- Análisis de rotura planar.

Figura 11

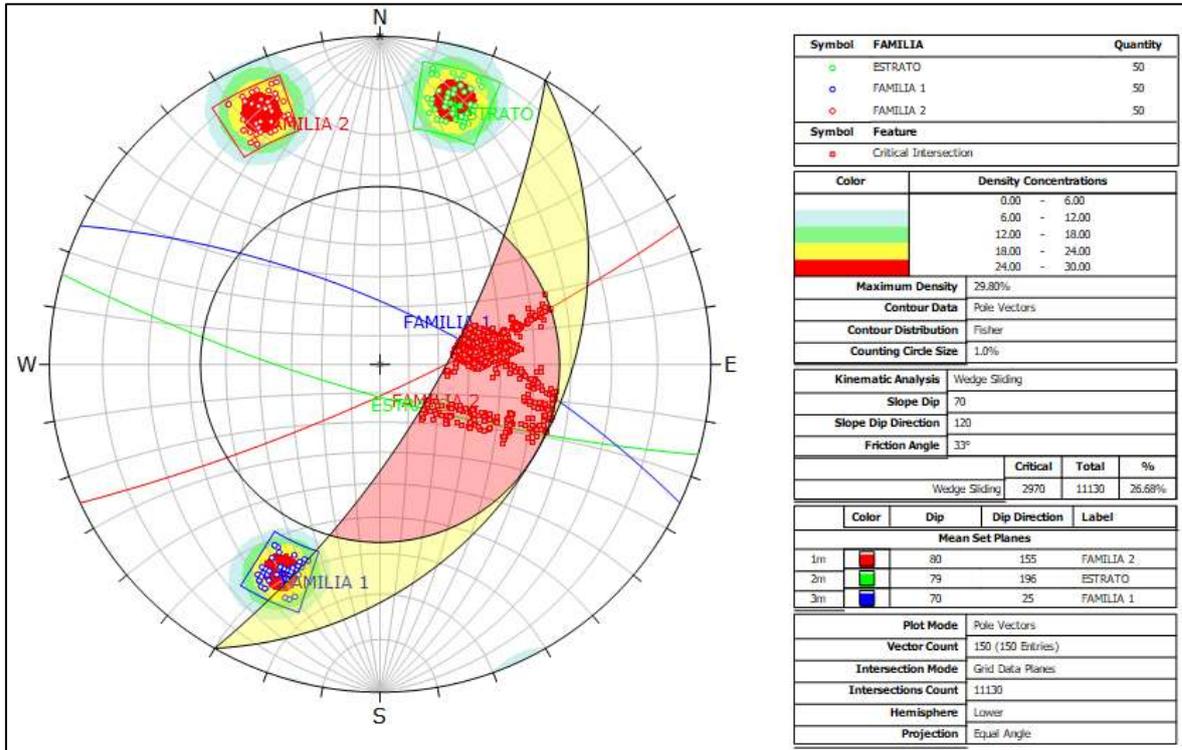
Análisis de rotura planar en la Estación N° 02, la rotura planar no tiene ningún tipo de influencia en el macizo rocoso.



- Análisis de rotura en cuña

Figura 12

Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 02, se observa una probabilidad de bajo porcentaje en cuña.



- Abertura

La abertura de las diaclasas varía entre 2 y 2.5 mm, su relleno es relativamente duro debido a que es sílice, en algunas partes se encuentra relleno de óxidos.

- Rugosidad

El macizo rocoso es ligeramente rugoso.

- Agua

Dependiendo de la temporada en la que nos encontramos, en verano es relativamente seco, pero en épocas de lluvia es húmedo a mojado.

3.3.2.5. Grado de meteorización del macizo rocoso

Tabla 19

Grado de meteorización el macizo rocoso.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
ROCA FRESCA	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies	I
LEVEMENTE METEORIZADA	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización o puede estar externamente algo más débil. Que en su condición fresca.	II
MODERADAMENTE METEORIZADA	Menos de la mitad de la roca de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
MUY METEORIZADA	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
COMPLETAMENTE METEORIZADA	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
SUELO RESIDUAL	Toda la roca esta convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

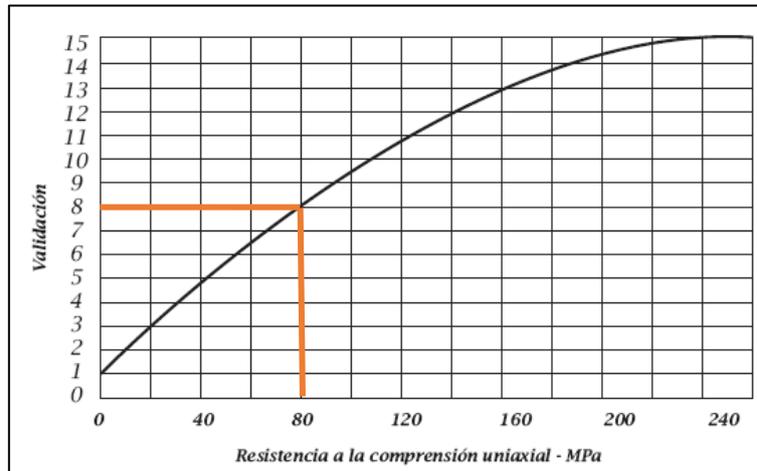
3.3.2.6. Parámetros para la clasificación resistencia a la compresión uniaxial de la roca

Tabla 20

Clasificación según la compresión uniaxial de la roca.

CLASE	RESISTENCIA	RESIST. UNIAXIAL Mpa	CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneiss, Granito, Curacita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneiss, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Silstone.
R2	Débil	5.0 - 25		Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del partillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0	**	Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Valoración de la resistencia a la compresión uniaxial



Valoración: 8

3.3.2.7. Índice de calidad de la roca (RQD)

Ecuación 2

Cálculo de RQD

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades}}{m}$$

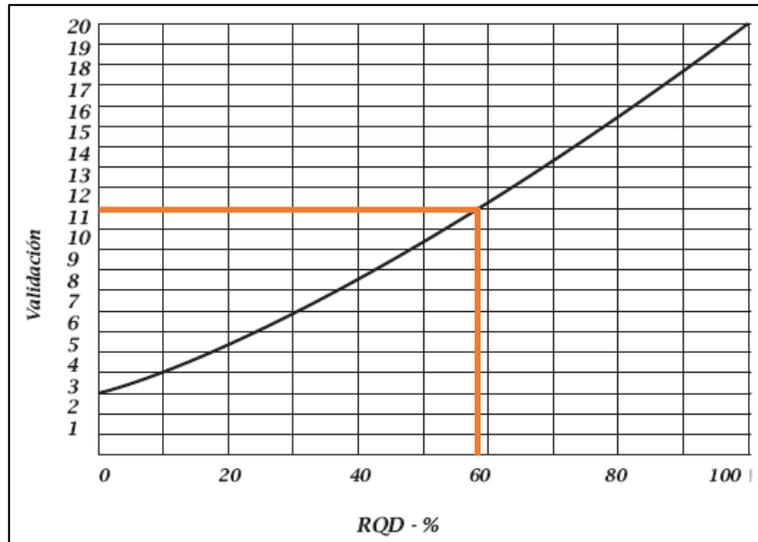
Según los datos obtenidos de campo:

$$\lambda = \frac{56}{4} = 14$$

$$RQD = 100 e^{-0.1 \times 14} (0.1 \times 14 + 1)$$

$$RQD = 59.35\%$$

Valoración del índice de calidad de la roca (RQD)



Valoración: 12

3.3.2.8. Espacio de las discontinuidades

Tabla 21

Espaciamiento de las discontinuidades.

FAMILIA	DIP	DIP DIRECCIÓN	ESPACIADO (m) promedio
Estratificación	79	196	0.2 – 0.06
1	70	25	0.2 – 0.06
2	80	155	0.2 – 0.06
VALORACIÓN			10

3.3.2.9. Condición de las discontinuidades

Tabla 22

Condiciones de las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN
Longitud de las disc. (m)	<1	1 – 3 m	1 – 3 m	4
Abertura (mm)	>5	2 – 2.5	Ninguno	1
Rugosidad	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	Blando < 5 mm	Ninguno	4
Meteorización	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada	3
TOTAL				15

3.3.2.10. Condición de infiltración de agua

Tabla 23

Infiltración del agua en las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN
Agua freática (estado general)	Lig. Húmedo	Lig. Húmedo	Seco	9

3.3.2.11. Cuadro de clasificación según Bieniaswki (Rock Mass Rating)

Tabla 24

Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).

PARÁMETRO		ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES						
1	RESISTENCIA DE LA ROCA SANA	CARGA PUNTUAL L Mpa Kg/cm2 (aprox.)	> 10	100	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Únicamente Compresión Simple
	COMPR E. SIMPLE Mpa Kg/cm2 (aprox.)	> 250	> 2 500	100 - 250 1 000 - 2 500	50 - 100 500 - 1 000	25 - 50 250 - 500	5 - 25 50 - 25 0 0	< 1 < 1 0
	VALORACIÓN	15	12	8	4	2	1	0
2	RQD %	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	VALORACIÓN	20	17	12	8	3		
3	SEPARACIÓN DE DISCONTINUIDADES	> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	VALORACIÓN	20	15	10	8	5		
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES (VER GUÍA ESPECIAL)	Muy rugosas Discontinuas Sin separaciones Borde sano y duro	Ligeramente rugosos Aberturas <1mm Bordes duros	Ligeramente rugosos Aberturas <1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o aberturas > 5 mm Diaclasa continua		
	VALORACIÓN	30	25	15	10	0		
5	PRESENCIA DE AGUA	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min	
	RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN DE AGUA Y LA MAYOR DEL TERRENO σ_w Y σ_1	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	ESTADO GENERAL	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
VALORACIÓN	15	9	7	4	0			

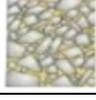
$$RMR = 8 + 12 + 10 + 15 + 9 = 54$$

Tabla 25

Valoración del RMR.

VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
CLASES	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

3.3.2.12. GSI (Geological Strength Index)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)	CONDICIÓN DEL FRENTE				
	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENAS (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cicalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cicalla muy alteradas con rellenos arcillosos
 <p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar, bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	80	70			
 <p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>		60	50		
 <p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos</p>			40	30	
 <p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos.</p>				20	10

Estructura del macizo rocoso:

Bloques y capas

Condición del frente o de la superficie:

Buena

Valoración Correspondiente:

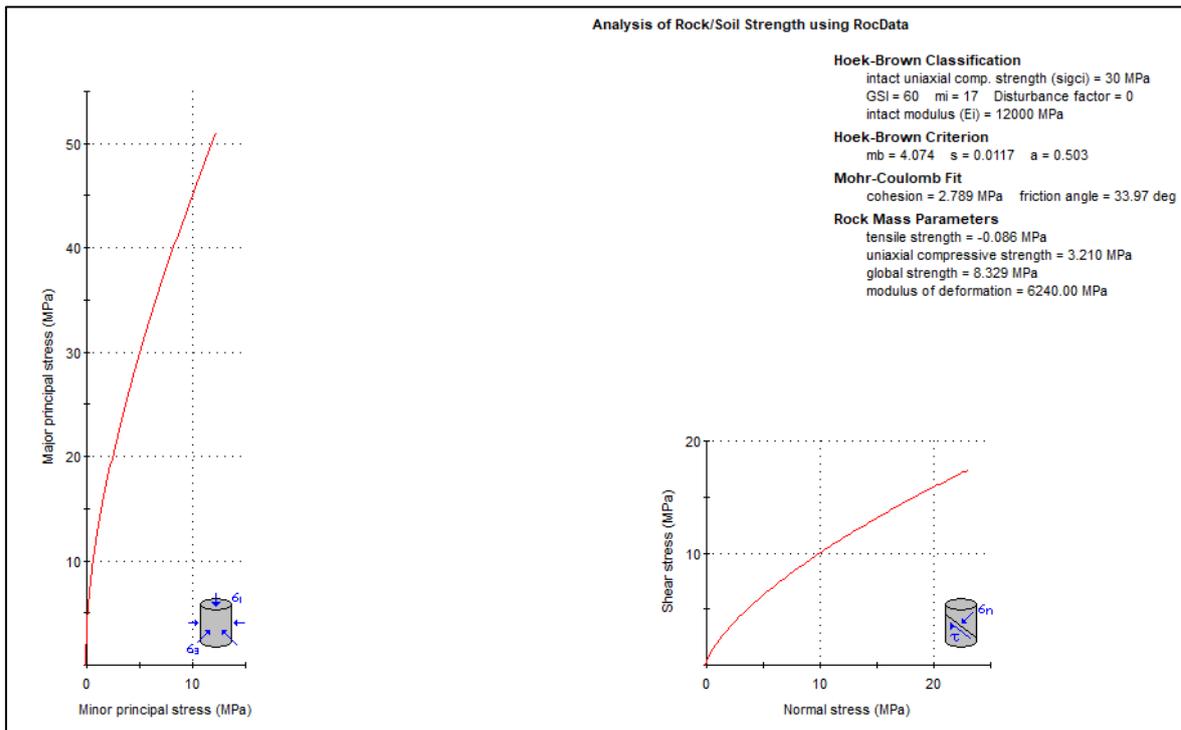
60

3.3.2.13. Resistencia y deformabilidad del macizo rocoso criterio de rotura de

Hoek y Brown.

Figura 13

Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.



Fotografía 6

Afloramiento de rocas areniscas, Formación Chimú.



Tabla 26

Ubicación de la Estación N°03.

FORMACIÓN	CHIMÚ	
COORDENADAS WGS 84	NORTE	9202911
	ESTE	777451
	COTA	2817 m.s.n.m.

3.3.3.1. Litología

Clasificación Genética: Roca sedimentaria.

Clasificación Litológica: Arenisca moderadamente meteorizada

Clasificación Ingenieril por Deere (1968): Se determina de acuerdo a la resistencia a la comprensión uniaxial en base a pruebas manuales. Dando como resultado una roca de Clase C – Resistencia Media.

Tabla 27

Clasificación Ingenieril por Deere (1968).

CLASE	DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN UNIAXIAL		TIPOS DE ROCAS
		PSI	Mpa	
A	RESISTENCIA MUY ALTA	> 32 000	220	CUARCITAS, DIABASAS, MAYORÍA DE ROCAS ÍGNEAS. ARENISCAS FRÁGILMENTE CEMENTADAS. LUTITAS RESISTENTES MAYORÍA DE LAS CALIZAS. CIERTAS DOLOMITAS
B	RESISTENCIA ALTA	16 000 - 32 000	110 a 220	ALGUNAS LUTITAS. ARENISCAS Y CALIZAS POROSAS. ESQUISTOS Y ROCAS METAMÓRFICAS.
C	RESISTENCIA MEDIA	8 000 - 16 000	55 a 110	ROCAS POROSAS DE BAJA DENSIDAD. ARENISCAS DELEZNABLES. TUFAS Y LUTITAS ARCILLOSAS. ROCAS METEORIZADAS Y QUÍMICAMENTE ALTERADAS DE CUALQUIER LITOLOGÍA
D	RESISTENCIA BAJA	4 000 - 8 000	28 a 55	
E	RESISTENCIA MUY BAJA	< 4 0000	< 28	

Meteorización Física: El macizo rocoso se encuentra erosionada en más cantidad, el recubrimiento vegetal y el suelo afecta a la parte superior e inferior del macizo rocoso.

Meteorización Química: Oxidación asociada a la hematita y presencia de limolita dando una coloración rojiza y amarillenta, pero ubicándose más la tonalidad amarillenta, se encuentran más arcillas, debido a que está más cercano a la carretera.

Fotografía 7

Macizos rocos donde se aprecian la meteorización la cual afecta en varias zonas del macizo rocoso.



En la descripción de meteorización según Duque – Escobar (1998) se puede ubicar en un término de moderadamente meteorizada, debido a la oxidación y disolución que solo se encuentra a manera de pátinas.

Tabla 28

Descripción de meteorización según Duque - Escobar (1998).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
SANA	NO EXISTE EVIDENCIA DE CUALQUIER ALTERACIÓN QUÍMICA O MECÁNICA
LIGERAMENTE METEORIZADA	LIGERA DECOLORACIÓN EN LA SUPERFICIE. DE SER POSIBLE DEBE MENCIONARSE EL MINERAL AL QUE ESTÁ ASOCIADA DICHA DECOLORACIÓN
MODERADAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN EVIDENTE. SUPERFICIE MOLEADA Y ALTERADA, LLEGANDO INCLUSO A PRESENTARSE POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA ROCA.
ALTAMENTE METEORIZADA	DECOLORACIÓN TOTAL. LA ALTERACIÓN DE LA ROCA SE EXTIENDE POR CASI TODO EL BLOQUE O PIEZA CONSIDERADA.
DESINTEGRADA	LA ROCA SE HA METEORIZADO A LA CONDICIÓN DE UN SUELO, CON VESTIGIOS DE LA TEXTURA ORIGINAL. LA ROCA ES FRIABLE PERO LOS GRANOS MINERALES NO SE HAN DESCOMPUESTO.

3.3.3.3. Características de resistencia

Para obtener el rango de resistencia, se hicieron pruebas manuales sobre la roca intacta, la cual primero fue limpiada de cualquier rastro de meteorización dando como resultado una roca de grado: R4 cuyo rango de resistencia esta entre 50 – 100 Mpa.

Tabla 29

Clasificación del grado según pruebas manuales in situ.

GRADO	DESCIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)
S1	ARCILLA MUY BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL PUÑO	< 0.025
S2	ARCILLA BLANDA	PENETRADA FÁCILMENTE VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR	0.025 - 0.05
S3	ARCILLA MEDIA	PENETRADAS VARIAS PULGADAS POR EL DEDO PULGAR, USAN ESFUERZO MODERADO	0.05 - 0.10
S4	ARCILLA SEMIDURA	DEJA FÁCILMENTE HENDIDURA POR LA ACCIÓN DEL DEDO PULGAR, PERO PENETRA SOLAMENTE CON GRAN ESFUERZO	0.10 - 0.25
S5	ARCILLA DURA	MELLADA FÁCILMENTE POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 0.50
S6	ARCILLA MUY DURA	MELLADA CON DIFICULTAD POR LA UÑA DEL PULGAR	0.50 - 1
R0	ROCA EXTREMADAMENTE DÉBIL	MELLADA POR LA UÑA DEL PULGAR	0.25 - 1
R1	ROCA MUY DÉBIL	SE DSGREGA POR GOLPES FUERTES DE LA PUNTA DE LA PIQUETA; PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA	1 - 5
R2	ROCA DÉBIL	PUEDE SER DESCONCHADA POR UNA NAVAJA, CON DIFICULTADA	5 - 25
R3	ROCA MEDIANAMENTE RESISTENTE	NO PUEDE SER RAYADA O DESCONCHADA POR NAVAJA; LA MUESTRA PUEDE SER FRACTURADA POR UN GOLPE FUERTE DE LA PUNTA DE LA PIQUETA	25 - 50
R4	ROCA FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE MÁS DE UN GOLPE DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	50 - 100
R5	ROCA MUY FUERTE	LA MUESTRA REQUIERE VARIOS GOLPES DE LA PIQUETA PARA FRACTURARLA	100 - 250
R6	ROCA EXTREMADAMENTE RESISTENTE	LA MUESTRA PUEDE SER SOLAMENTE ASTILLADA POR LA PIQUETA	> 250

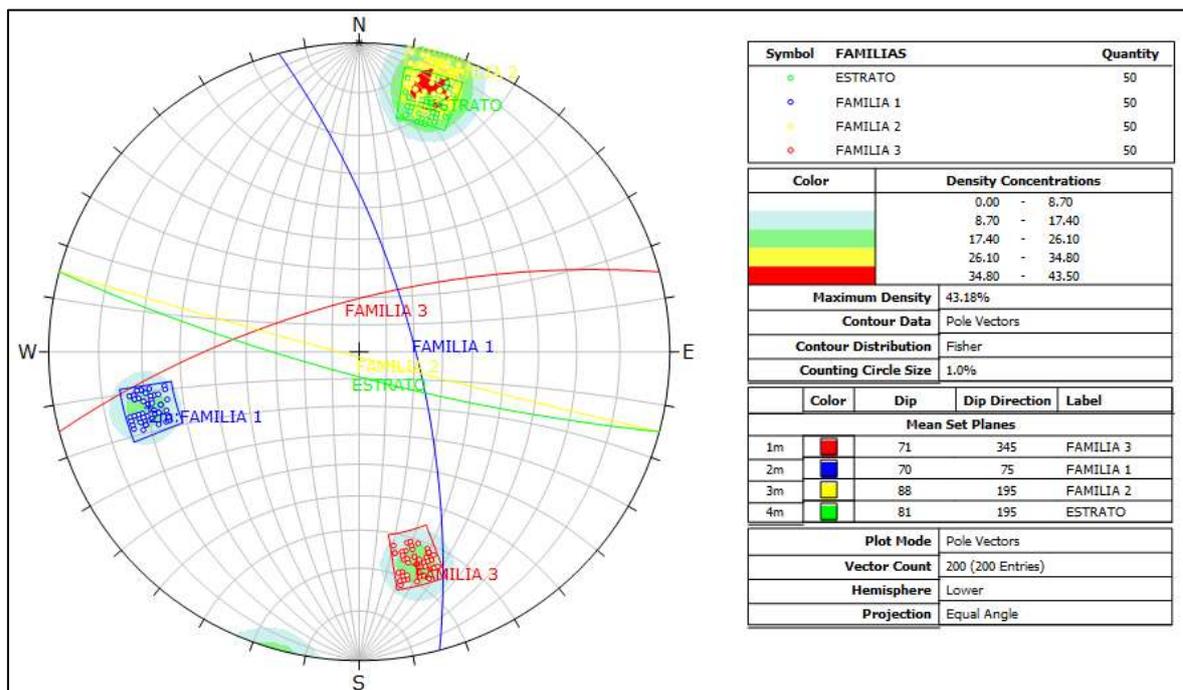
3.3.3.4. Descripción de las discontinuidades – orientación

El macizo rocoso presenta familias de discontinuidades, las cuales fueron analizadas y encontramos 3 sistemas o familias (Familia 1, Familia 2, Familia 3). Siendo analizadas por ayuda del software Dips v6.0.

- Diagrama de Fisher densidad de polos y planos principales

Figura 14

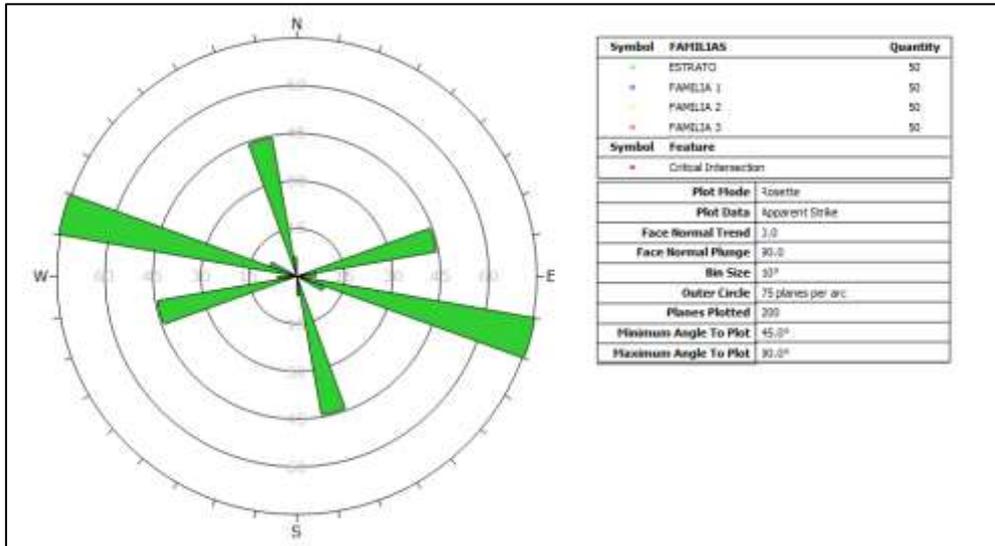
Densidad de polos de las diferentes familias de discontinuidades.



- Diagrama de rosas estructurales.

Figura 15

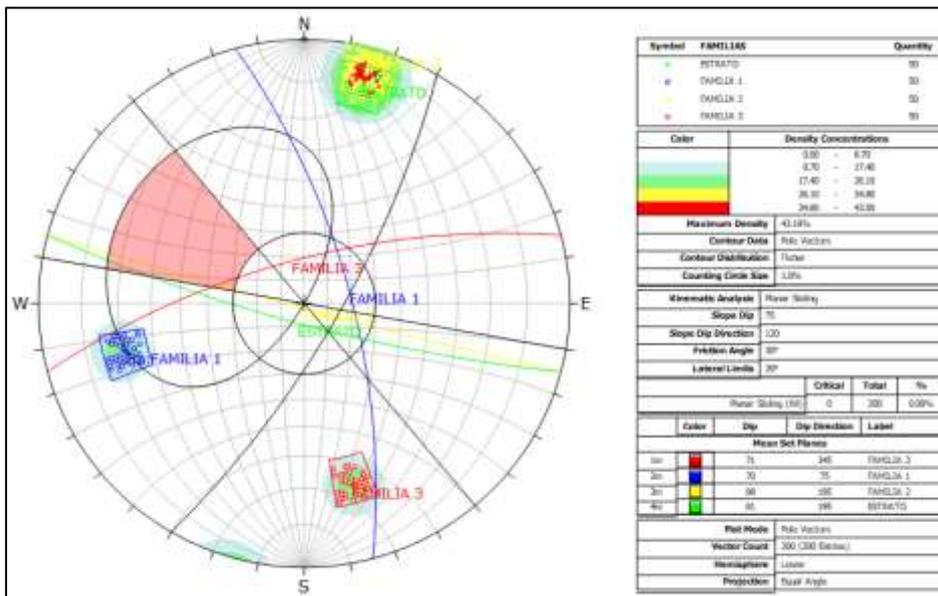
Diagrama de rosetas de las familias de la Estación N° 03.



- Análisis de rotura planar.

Figura 16

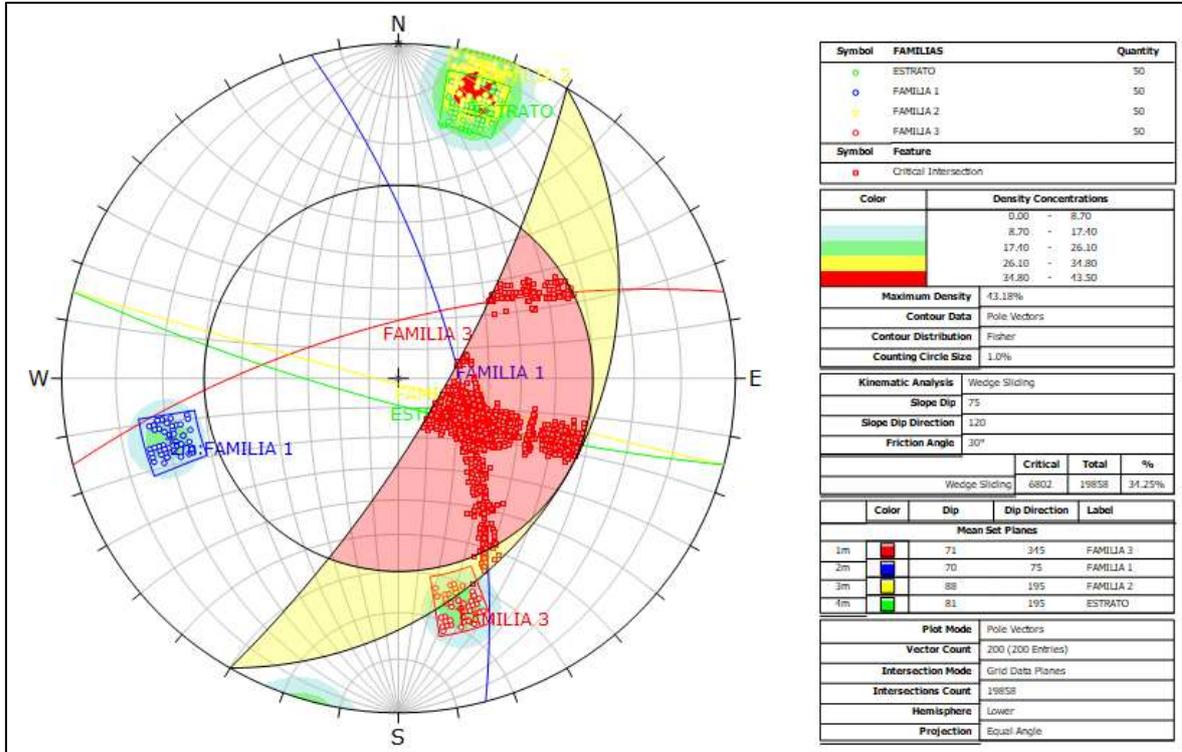
Análisis de rotura planar en la Estación N° 03, no existe una rotura planar aparente.



- **Análisis de rotura en cuña**

Figura 17

Análisis de rotura en cuña en la Estación N° 03, en su totalidad existe un porcentaje considerable de la rotura en cuña siendo mayor que la anterior estación.



- **Abertura**

La abertura de las diaclasas varía entre 1 y 2.5 mm, su relleno es relativamente duro debido a que es sílice, en algunas partes se encuentra relleno de óxidos.

- **Rugosidad**

El macizo rocoso es ligeramente rugoso.

- Agua

Dependiendo de la temporada en la que nos encontramos, en verano es relativamente seco, pero en épocas de lluvia es húmedo a mojado.

3.3.3.5. Grado de meteorización del macizo rocoso

Tabla 30

Grado de meteorización el macizo rocoso.

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
ROCA FRESCA	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies	I
LEVEMENTE METEORIZADA	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización o puede estar externamente algo más débil. Que en su condición fresca.	II
MODERADAMENTE METEORIZADA	Menos de la mitad de la roca de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
MUY METEORIZADA	Más de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
COMPLETAMENTE METEORIZADA	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
SUELO RESIDUAL	Toda la roca esta convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo, el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

3.3.3.6. Parámetros para la clasificación resistencia a la compresión

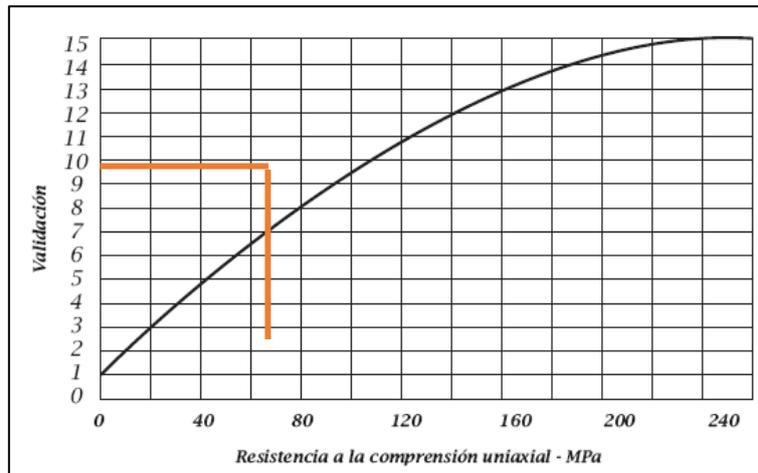
uniaxial de la roca

Tabla 31

Clasificación según la compresión uniaxial de la roca.

CLASE	RESISTENCIA	RESIST. UNIAXIAL Mpa	CARGA PUNTUAL Mpa	ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA EN EL CAMPO	EJEMPLOS
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Solo se pueden romper esquirlas de la roca con el martillo de geólogo.	Basalto, Diabasa, Gneiss, Granito, Curacita, Chert
R5	Muy Resistente	100 - 250	4 - 10	Se necesitan muchos golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Anfibolita, Arenisca, Gneiss, Gabro, Granodiorita, Basalto.
R4	Resistente	50 - 100	2 - 4	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra.	Caliza, Mármol, Esquisto, Arenisca.
R3	Moderadamente Resistente	25 - 50	1 - 2	No se puede rayar o desconchar con una navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme con el martillo.	Concreto, Esquisto, Carbón, Silstone.
R2	Débil	5.0 - 25		Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente la roca con la punta del partillo	Creta, Marga, Yeso, Esquisto, Shale.
R1	Muy Débil	1.0 - 5.0	**	Deleznable bajo golpes fuertes con la punta del martillo de geólogo puede desconcharse con una navaja.	Roca alterada, Shale.
R0	Extremadamente Débil	0.25 - 1		Rayado por la uña del dedo pulgar.	Falla delgada rígida.

Valoración de la resistencia a la compresión uniaxial



Valoración: 7

3.3.3.7. Índice de calidad de la roca (RQD)

Ecuación 3

Cálculo de RQD

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\text{N}^\circ \text{ de discontinuidades}}{m}$$

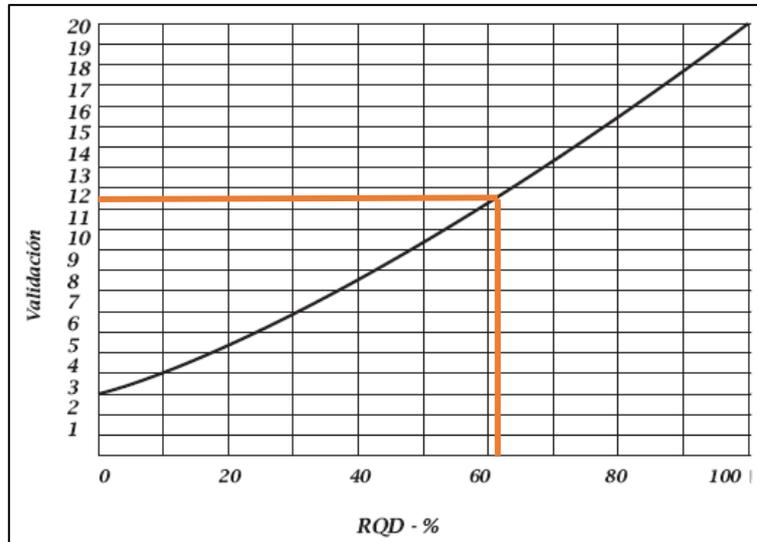
Según los datos obtenidos de campo:

$$\lambda = \frac{40}{3} = 13.33$$

$$RQD = 100 e^{-0.1 \times 13.33} (0.1 \times 13.33 + 1)$$

$$RQD = 61.67\%$$

Valoración del índice de calidad de la roca (RQD)



Valoración: 11.5 ~ 12

3.3.3.8. Espacio de las discontinuidades

Tabla 32

Espaciamiento de las discontinuidades.

FAMILIA	DIP	DIP DIRECCIÓN	ESPACIADO (m) promedio
Estratificación	81	195	0.2 – 0.06
1	70	75	0.2 – 0.06
2	88	195	0.2 – 0.06
3	71	345	0.2 – 0.06
VALORACIÓN			10

3.3.3.9. Condición de las discontinuidades

Tabla 33

Condiciones de las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN N
Longitud de las disc. (m)	1 – 3 m	1 – 3 m	1 – 3 m	<1	5
Abertura (mm)	>5	1 – 2.5	>5	>5	1
Rugosidad	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	Lig. Rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	Blando < 5 mm	Blando < 5 mm	Ninguno	2
Meteorización	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada	Mod. Alterada	3
TOTAL					14

3.3.3.10. Condición de infiltración de agua

Tabla 34

Infiltración del agua en las discontinuidades.

PARÁMETRO	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	PLANO DE ESTRATIFICACIÓN	VALORACIÓN
Agua freática (estado general)	Húmedo	Lig. Húmedo	Lig. Húmedo	Seco	11

3.3.3.11. Cuadro de clasificación según Bieniaswki (Rock Mass Rating)

Tabla 35

Valoración de las características de las discontinuidades según Bieniaswki (Rock Mass Rating).

PARÁMETRO		ESTIMACIÓN Y ESCALA DE VALORES					
1	RESISTENCIA DE LA ROCA SANA	CARGA PUNTUAL L Mpa Kg/cm ² (aprox.)	> 100	4 - 10 40 - 100	2 - 4 20 - 40	1 - 2 10 - 20	Únicamente Compresión Simple
	COMPRÉSILES SIMPLE	Mpa Kg/cm ² (aprox.)	> 250 > 500	100 - 250 1 000 - 2 500	50 - 100 500 - 1 000	25 - 50 250 - 500	5 - 25 50 1 - 25 0
VALORACIÓN			15	12	7	4	2 1 0
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
	VALORACIÓN		20	17	12	8	3
3	SEPARACIÓN DE DISCONTINUIDADES		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m
	VALORACIÓN		20	15	10	8	5
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES (VER GUÍA ESPECIAL)	Muy rugosas Discontinuidades Sin separación Borde sano y duro	Ligeramente rugosas Abertura <1mm Bordes duros	Ligeramente rugosas Abertura <1mm Bordes blandos	Espejo de falla o con relleno < 5 mm o abiertas 1 - 5 mm. Diaclasas continuas	Relleno blando > 5 mm o abertura > 5 mm Diaclasa continua	
	VALORACIÓN		30	25	14	10	0
5	PRESENCIA DE AGUA	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 L/min	10 - 25 L/min	25 - 125 L/min	> 125 L/min
		Relación entre la presión de agua y la mayor del terreno σ_w y σ_1	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
VALORACIÓN			15	11	7	4	0

$$RMR = 7 + 12 + 10 + 14 + 11 = 54$$

Tabla 36

Valoración del RMR.

VALORACIÓN	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
CLASES	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

3.3.3.12. GSI (Geological Strength Index)

ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX)	CONDICIÓN DEL FRENTE				
	MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENAS (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
 BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar, bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
 BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
 BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos			40	30	
 FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados con alto contenido de finos.				20	10

Estructura del macizo rocoso:

Bloques y capas

Condición del frente o de la superficie:

Buena

Valoración Correspondiente:

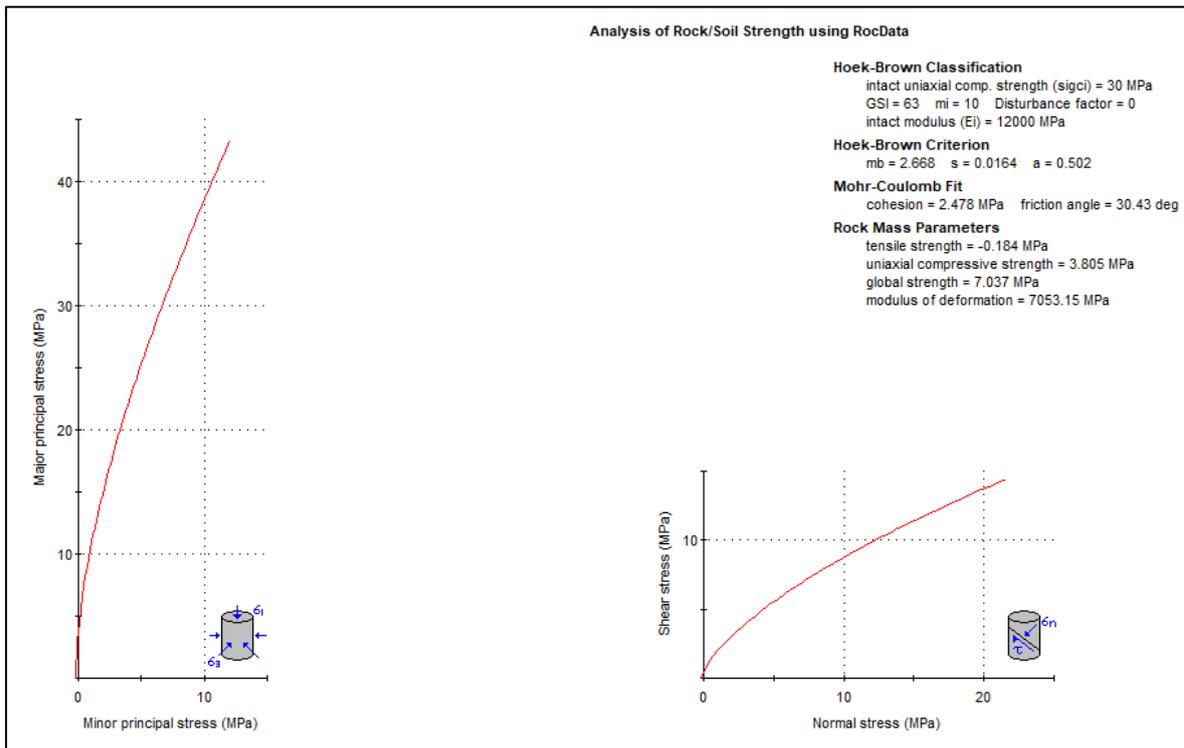
63

3.3.3.13. Resistencia y deformabilidad del macizo rocoso criterio de rotura de

Hoek y Brown.

Figura 18

Gráficas de Esfuerzo Mayor – Esfuerzo Menor (Izquierda) y Esfuerzo Normal – Esfuerzo de Corte (derecha) de la arenisca de la Fm. Chimú.



3.4. Análisis de probabilidad de fallas de macizo rocoso

Para el análisis mediante el software de Swedge se utilizaron datos de sismicidad obtenidos por el Doctor Reinaldo Rodríguez Cruzado en su tesis “MÉTODO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PARA EL ANÁLISIS DE INESTABILIDAD DE LADERAS POR DESLIZAMIENTOS ZONA RONQUILLO-CORISORGONA”, teniendo así que el $K_h=0.175$ y el $K_v=0.088$.

3.4.1. Estación N° 01

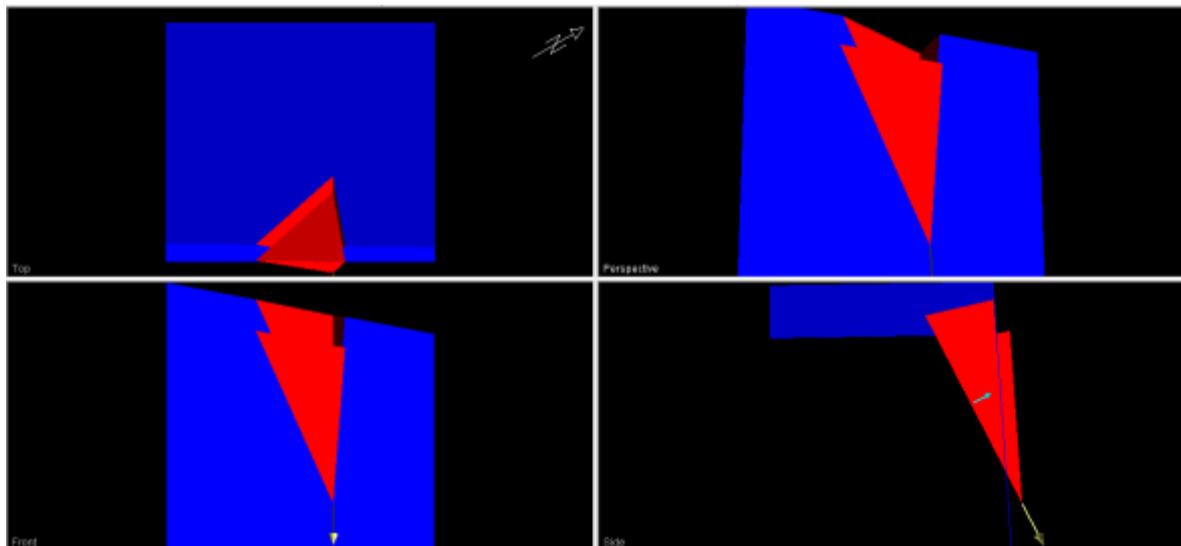
Tabla 37

Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.

FACTOR DE SEGURIDAD	
CONDICIÓN	VALOR
INICIAL	11.11
SATURACIÓN 50%	11.05
SATURACIÓN 100%	3.92
SISMICIDAD	9.32
SATURACIÓN 100% Y SISMICIDAD	3.28

Figura 19

Simulación de datos Estación N° 01.



3.4.2. Estación N° 02

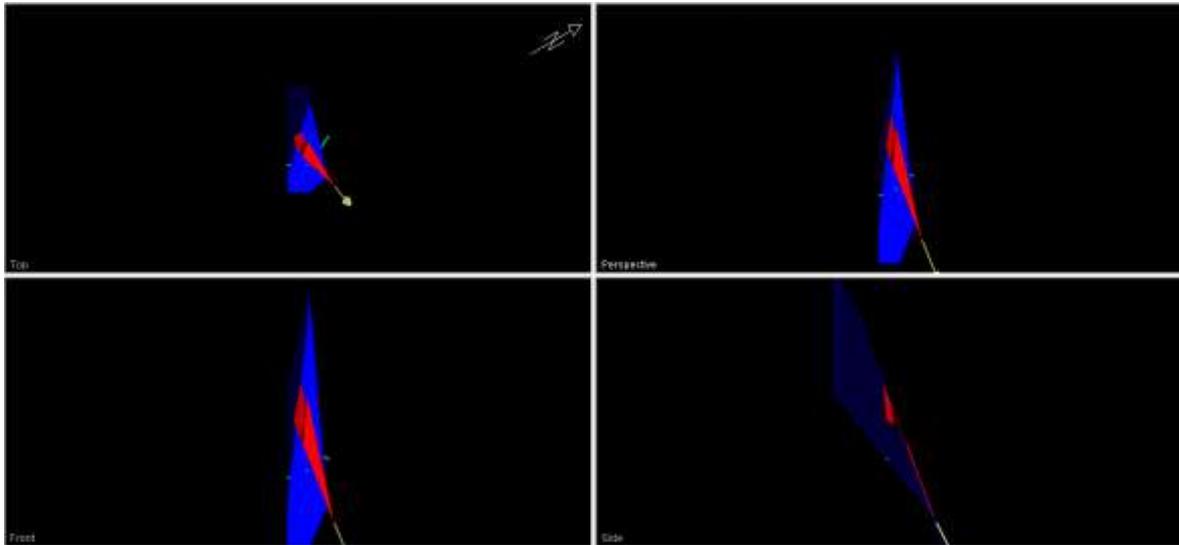
Tabla 38

Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.

FACTOR DE SEGURIDAD	
CONDICIÓN	VALOR
INICIAL	2.45
SATURACIÓN 50%	2.19
SATURACIÓN 100%	0.77
SISMICIDAD	2.03
SATURACIÓN 100% Y SISMICIDAD	0.64

Figura 20

Simulación de datos Estación N° 02.



3.4.3. Estación N° 03

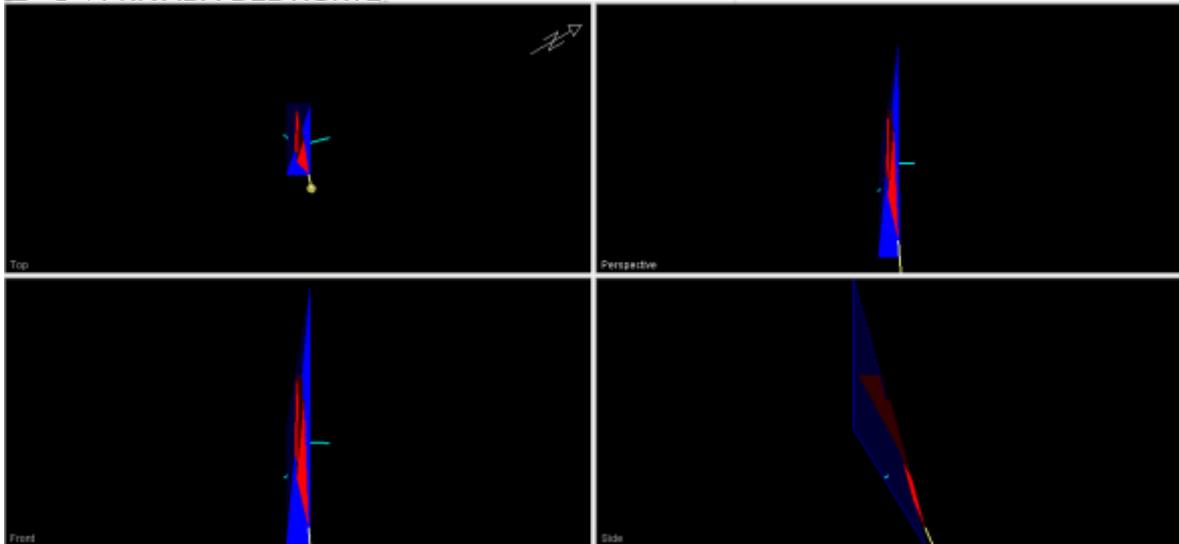
Tabla 39

Simulación de corte en cuña para las condiciones de saturación y sismicidad.

FACTOR DE SEGURIDAD	
CONDICIÓN	VALOR
INICIAL	1.47
SATURACIÓN 50%	1.44
SATURACIÓN 100%	0.33
SISMICIDAD	1.24
SATURACIÓN 100% Y SISMICIDAD	0.28

Figura 21

Simulación de datos Estación N° 03.

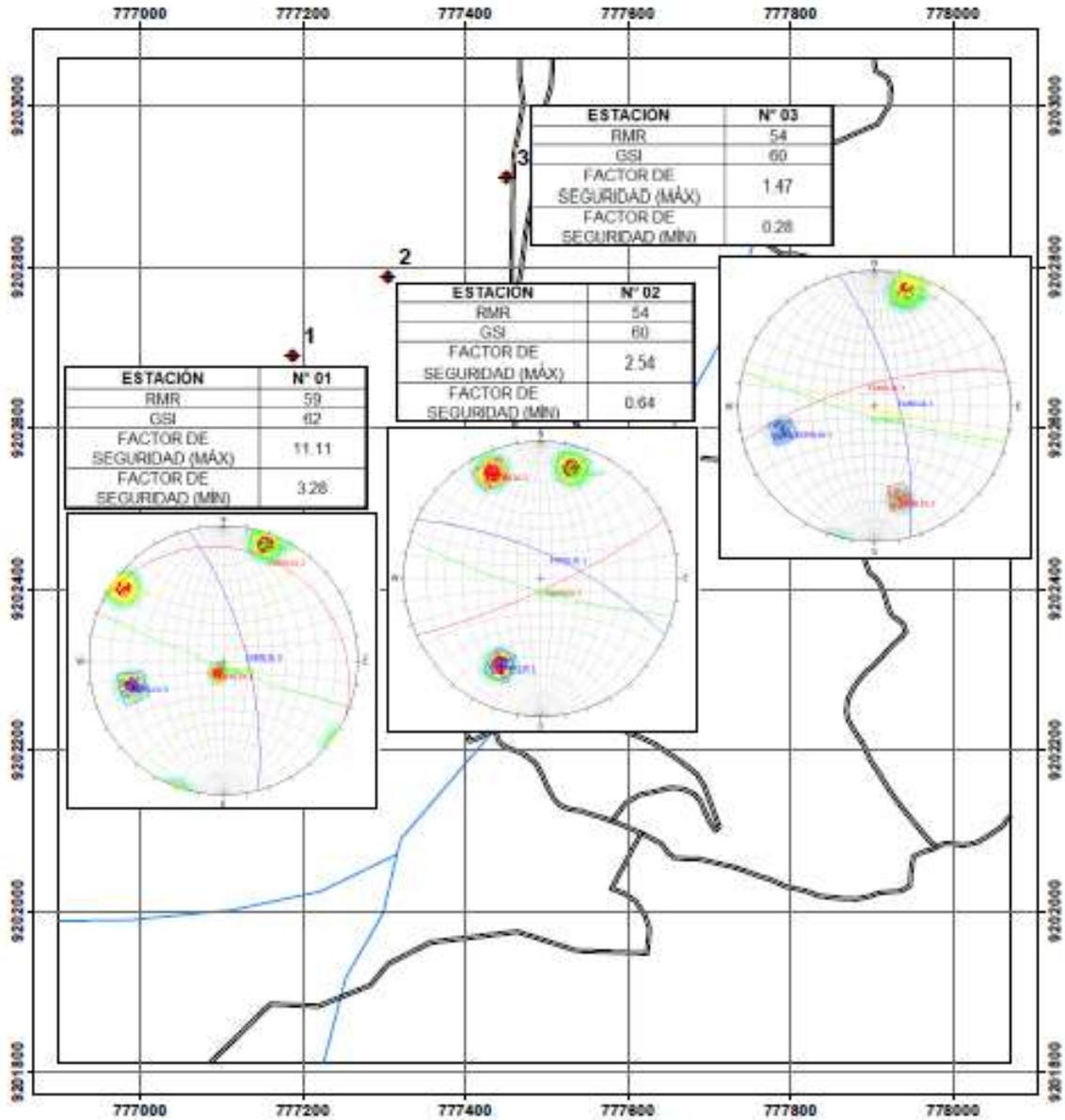


3.5. Zonificación geomecánica del área de estudio

En la zona de estudio se analizaron 3 puntos críticos e importantes, creando 3 zonas de acuerdo a la clasificación de Rock Mass Rating, teniendo en cuenta los valores de 59 y 54 de RMR, donde las dos últimas zonas se encuentran con un valor de 54 de RMR, relacionando este valor al Factor de Seguridad, existe una relación de acuerdo a la inestabilidad que estas zonas presentan.

Figura 22

Zonificación geomecánica de las estaciones de trabajo.



CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Tomando en cuenta investigaciones anteriores, tenemos que Viltres, et al. (2011), Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa, Moa, Cuba. Identifica diferentes tipos de deslizamientos que tienen factores causales y condicionantes como la fuerza de gravedad, precipitación y fuerzas sísmicas, donde aplica los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G.) para obtener data y realizar un mapa de riesgos, y a la vez una zonificación de acuerdo a los datos que se han analizado. Estos datos que se obtienen nos indica una clasificación de peligrosidad con valores de muy baja, baja, moderada, alta y muy alta; esto se basa de acuerdo a los porcentajes de pendiente del área total. Por otro lado, existe una relación entre la alta complejidad geológica y tectónica con los factores detonantes, que diferenciados por la composición litológicas y características geomecánicas evidencian diferentes zonas de inestabilidad. Algunas litologías se encuentran muy afectadas por los factores de sismicidad y precipitación, como resultado para esta investigación se tiene al complejo ofiolítico como la litología más inestable.

Así también Arteaga (2017). En la investigación: Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena, Cajamarca, Perú. Analiza el comportamiento geológico – geotécnico en los 15 taludes seleccionados de la carretera mediante el Software Slide v7.0 y RocData v5.0. Utilizan el Criterio de Mohr-Coulomb para los taludes de suelos y el Criterio Generalizado de Hoek-Brown para los

taludes de roca. La data seleccionada se logra analizar mediante el Software Slide v7.0 obteniendo valores de los taludes 01, 03, 04, 05, 06, 07, 11 y 13, los cuales presentan una estabilidad relativa con un factor de seguridad que se encuentran en el rango de 1.00 - 1.29. Estos taludes están compuestos por depósitos cuaternarios, geomorfológicamente están ubicados en terrenos con pendientes que varían de 25° - 45°. Posteriormente fueron analizados con el criterio de Mohr – Coulomb los taludes 02, 08, 10 y 15 presentando una estabilidad temporal, el factor de seguridad de estos taludes se encuentra en el rango de 1.30 - 1.49; el talud 02 está compuesto por calizas de la Formación Pariatambo y los taludes 08, 10 y 15 están compuestos por depósitos cuaternarios, ubicados en terrenos con pendientes de 15°-25°. Los taludes 09, 12 y 14, presentan una estabilidad permanente, el factor de seguridad de estos taludes se encuentra en el rango de 1.50 - 2.99; los taludes 12 y 14 están compuestos por calizas de la Formación Pariatambo y Grupo Puyllucana respectivamente, y el talud 09 está compuesto por depósitos aluviales, ubicado en terrenos de pendiente de 15°-20°. En condiciones de saturación, los taludes 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 11, 12, 13 presentan inestabilidad absoluta, el factor de seguridad está en el rango de 0.00 - 0.89; la inestabilidad en los taludes 02 y 12 compuestos por calizas está influenciada por la geometría del talud. Los taludes 08, 10 y 15 presentan inestabilidad relativa, el factor de seguridad está en el rango de 0.90 - 0.99. Los taludes 09 y 14 presentan estabilidad temporal, en el talud 14 la superficie de falla está en la base del talud donde hay depósitos coluvio-aluviales. En condiciones de sismicidad, los taludes 01, 03, 04, 05, 06, 07, 11 y 13 presentan inestabilidad absoluta, debido a que están compuestos por depósitos cuaternarios, sus características geológicas, geotécnicas y geométricas

influyen en su inestabilidad. Este estudio concluye diciendo que los factores geológicos-geotécnicos, junto con factores geométricos y topográficos del talud, han sido afectados por procesos geodinámicos externos e internos, que han modificado sus propiedades geomecánicas, influyendo en la inestabilidad de los taludes, que incrementa con factores desencadenantes de saturación y sismicidad.

En nuestra investigación con la obtención de datos que se han mencionado en el marco geológico y el análisis de datos mediante el software Swedge, concuerda con nuestra hipótesis, demostrando que la Formación Chimú, compuesta de areniscas en el área de estudio, han sido afectados por factores detonantes de alteración química y física, así como también por la precipitación y sismicidad. Estos alteraron las características geomecánicas de las rocas, generando planos de debilidad y a su vez familias de diaclasas en las rocas areniscas de la Formación Chimú. La cantidad de familias de diaclasas que se encontraron fueron 3 en la primera y tercera estación, mientras que en la segunda estación fueron 2, también se considera dentro de las familias de diaclasas a la estratificación.

Se tiene en la Estación N° 01 un D de 84 y DD 125 (familia 1), D de 11 y DD 25 (familia 2), D 70 y DD 75 (familia 3) teniendo como familia crítica la Familia 1 con la probabilidad de rotura planar de 58.00% y con en total con una probabilidad de rotura planar de 14.50% y rotura en cuña de 44.15%, esto debido a que tiene una cohesión de 4.193 MPa y un ángulo de fricción de 41.56°. En la Estación N° 02 observamos 2 familias de diaclasas con D 70 y DD 25 (familia 1), D 80 y DD 155 (familia 2), estas indican sólo una probabilidad de 26.68% para rotura en cuña ocasionada por una cohesión de

2.789 MPa y un ángulo de fricción de 33.97° . En la Estación N° 03 tenemos 3 familias de diaclasas con un D de 70 y DD 75 (familia 1), D de 88 y DD 195 (familia 2), D 71 y DD 345 (familia 3) teniendo una probabilidad de rotura en cuña de 34.25%, esto debido a que tiene una cohesión de 2.478 MPa y un ángulo de fricción de 30.43° . Estos datos obtenidos de los softwares RocData y Dips. Continuando con el análisis de las rocas areniscas de la Formación Chimú, se aplica el software Swedge a los macizos rocos para poder analizar la rotura en cuña, para esto se sometió en 5 eventos (inicial, saturación 50%, saturación 100%, sismicidad, saturación 100% + sismicidad). En la Estación N° 01 se obtuvo un FS mayor de 11.11 en condición inicial, indicando una estabilidad, al momento de someterse al último caso se tiene un FS de 3.28 donde su estabilidad disminuye, pero aún así, es estable. En la Estación N° 02 se tiene el FS mayor de 2.45 siendo estable el macizo rocoso al someterse a la última condición disminuye a 0.64, en este caso el macizo ya es inestable siendo una zona de riesgo. En la última estación, la Estación N° 03 tiene un FS mayor de 1.47, aun se considera como estable, pero existe un riesgo, al estar sometido a la última condición disminuye bastante a 0.28 siendo esta la zona de mayor riesgo en el área de estudio, pues el macizo rocoso se encuentra muy inestable.

La principal limitación que se tuvo fue no poder realizar una investigación en toda la zona de estudio, debido a que es muy amplia, para lo cual se considero las zonas más inestables para su análisis.

Para futuras investigaciones se recomienda un estudio en otras zonas para poder correlacionar las condiciones geomecánicas de toda la zona de estudio, de esta manera se puede hacer un análisis más detallado. Otra recomendación es la aplicación de ensayos geomecánicos en las zonas de estudio.

4.2. Conclusiones

- El comportamiento geomecánico de los macizos rocosos del km 2+500 hasta el km 3+450 avenida la Paz, centro poblado de Paríamarca, se encuentra afectado por la precipitación y sismicidad, los cuales alteran las características geomecánicas haciendo que la estabilidad de los macizos rocosos se vea afectadas al ser calificadas mediante el factor de seguridad.
- Tomando en cuenta la clasificación de RMR las 3 estaciones de estudio son consideradas como rocas de calidad regular, además de que los valores de 59, 54 y 54. Al mismo tiempo se clasifica según el GSI se tiene una valoración de 62, 60 y 63 para cada una de las 3 estaciones respectivamente.
- La probabilidad de falla de los macizos rocosos mediante el software Dips indica una mayor probabilidad de falla en cuña siendo el mayor 44.15 % en la Estación N° 01, en el software Swedge nos indica un FS mínimo para condición inicial de 1.47 y un FS mínimo para la última condición de 0.28, considerándose mayor inestabilidad de macizos rocosos en la Estación N° 03. Esto nos indica que las zonas de riesgos se encuentran en la Estación N° 01 y Estación N° 03.

- Se realizó un mapa geomecánico de la zona de investigación el cual se encuentra en los anexos, cuantificando y zonificando de acuerdo a los valores de RMR y Factor de Seguridad.

REFERENCIAS

- Álvaro, D. (2003).** Geología y geotécnica. Universidad Nacional del Rosario. Argentina: Facultad de las Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Obtenido de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Arteaga. (2017).** Análisis geológico - geotécnico en los taludes de la carretera Choropampa – Magdalena, Cajamarca, Perú.
- Ayala. (2017).** Análisis de los taludes de la carretera Yauyucán - Cruce Conejo Tranca (km 0+000 – km 6+635), y alternativas de solución Dto. Yauyucán – Prov. Santa cruz –Dpto. Cajamarca, Perú.
- Bongiorno, F. (2009).** Evaluación geotécnica del Río Topo, Autopista Caracas. Venezuela. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550787003>
- Hoek, E. (2013).** Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics, Geomechanics Symposium.
- Ramírez, P., & Alejandro, L. (2004).** Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 20 de Mayo de 2019, de http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf
- Sampieri, H. (2014).** Metodología de la investigación (Quinta Edición ed.). (J. M. Chacón, Ed.) Mexico: Mc Graw Hill - Educación. Obtenido de <https://www.esup.e>

du.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20invest

[igaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](#)

Supo, J. (2015). Cómo empezar una tesis. Lima: BIOESTADISTICO EIRL. Obtenido de <https://asesoresenturismoperu.files.wordpress.com/2016/03/107-josc3a9-supoc3b3mo-empezar-una-tesis.pdf>

Vallejo, L. G. (2003). SRC rock mass classification of tunnels under high tectonic stress excavated in weak rocks. Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas. España: Elsevier. Obtenido de https://webs.ucm.es/info/geodina/curriculums/LGV/pdf_articulos/2003%20SRC%20rock%20mass%20classification.pdf

Villanueva, E. (2018). Evaluación geotécnica para analizar la inestabilidad 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, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica. Recuperado de http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2242/Tesis_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Viltres. (2011). Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa, Moa, Cuba.

ANEXO 02: TABLA DE DATOS DE LAS ESTACIONES

ESTACIÓN N° 01

PUNTO	DIP	DD	FAMILIA
1	85	199	ESTRATO
2	86	198	ESTRATO
3	84	195	ESTRATO
4	85	199	ESTRATO
5	81	203	ESTRATO
6	83	198	ESTRATO
7	86	196	ESTRATO
8	84	196	ESTRATO
9	88	196	ESTRATO
10	87	199	ESTRATO
11	82	202	ESTRATO
12	89	204	ESTRATO
13	87	199	ESTRATO
14	83	204	ESTRATO
15	84	199	ESTRATO
16	80	201	ESTRATO
17	89	195	ESTRATO
18	89	197	ESTRATO
19	86	198	ESTRATO
20	86	202	ESTRATO
21	89	197	ESTRATO
22	85	205	ESTRATO
23	85	196	ESTRATO
24	84	199	ESTRATO
25	87	204	ESTRATO
26	89	197	ESTRATO
27	80	200	ESTRATO
28	84	204	ESTRATO
29	88	201	ESTRATO
30	85	201	ESTRATO
31	83	202	ESTRATO
32	83	205	ESTRATO
33	81	205	ESTRATO
34	88	203	ESTRATO
35	89	199	ESTRATO
36	83	202	ESTRATO
37	81	195	ESTRATO
38	86	200	ESTRATO
39	87	204	ESTRATO
40	80	197	ESTRATO

41	83	205	ESTRATO
42	80	200	ESTRATO
43	89	196	ESTRATO
44	80	198	ESTRATO
45	83	198	ESTRATO
46	84	200	ESTRATO
47	80	205	ESTRATO
48	83	199	ESTRATO
49	84	203	ESTRATO
50	87	197	ESTRATO
1	86	126	FAMILIA 1
2	81	121	FAMILIA 1
3	88	129	FAMILIA 1
4	80	125	FAMILIA 1
5	84	130	FAMILIA 1
6	86	122	FAMILIA 1
7	81	127	FAMILIA 1
8	85	127	FAMILIA 1
9	81	120	FAMILIA 1
10	89	129	FAMILIA 1
11	83	124	FAMILIA 1
12	86	127	FAMILIA 1
13	84	130	FAMILIA 1
14	87	130	FAMILIA 1
15	81	124	FAMILIA 1
16	80	126	FAMILIA 1
17	83	122	FAMILIA 1
18	82	125	FAMILIA 1
19	85	130	FAMILIA 1
20	87	120	FAMILIA 1
21	84	121	FAMILIA 1
22	83	122	FAMILIA 1
23	86	120	FAMILIA 1
24	80	129	FAMILIA 1
25	85	128	FAMILIA 1
26	86	128	FAMILIA 1
27	89	129	FAMILIA 1
28	87	127	FAMILIA 1
29	85	121	FAMILIA 1
30	84	123	FAMILIA 1
31	83	130	FAMILIA 1
32	86	130	FAMILIA 1
33	86	124	FAMILIA 1
34	82	128	FAMILIA 1
35	86	125	FAMILIA 1
36	81	123	FAMILIA 1
37	88	130	FAMILIA 1
38	88	121	FAMILIA 1
39	87	120	FAMILIA 1
40	80	120	FAMILIA 1
41	88	130	FAMILIA 1
42	80	124	FAMILIA 1
43	86	127	FAMILIA 1
44	83	130	FAMILIA 1

45	88	124	FAMILIA 1
46	87	121	FAMILIA 1
47	83	125	FAMILIA 1
48	81	127	FAMILIA 1
49	80	126	FAMILIA 1
50	88	125	FAMILIA 1
1	11	24	FAMILIA 2
2	9	25	FAMILIA 2
3	11	26	FAMILIA 2
4	15	27	FAMILIA 2
5	13	22	FAMILIA 2
6	5	24	FAMILIA 2
7	11	20	FAMILIA 2
8	14	29	FAMILIA 2
9	15	22	FAMILIA 2
10	15	23	FAMILIA 2
11	11	24	FAMILIA 2
12	7	29	FAMILIA 2
13	13	30	FAMILIA 2
14	8	29	FAMILIA 2
15	12	29	FAMILIA 2
16	5	25	FAMILIA 2
17	15	22	FAMILIA 2
18	14	24	FAMILIA 2
19	9	29	FAMILIA 2
20	15	28	FAMILIA 2
21	7	21	FAMILIA 2
22	9	25	FAMILIA 2
23	12	27	FAMILIA 2
24	12	20	FAMILIA 2
25	10	26	FAMILIA 2
26	14	30	FAMILIA 2
27	15	27	FAMILIA 2
28	13	29	FAMILIA 2
29	13	22	FAMILIA 2
30	12	30	FAMILIA 2
31	7	22	FAMILIA 2
32	12	22	FAMILIA 2
33	6	24	FAMILIA 2
34	14	28	FAMILIA 2
35	12	30	FAMILIA 2
36	14	26	FAMILIA 2
37	14	22	FAMILIA 2
38	8	30	FAMILIA 2
39	13	25	FAMILIA 2
40	14	24	FAMILIA 2
41	7	23	FAMILIA 2
42	9	30	FAMILIA 2
43	6	22	FAMILIA 2
44	5	22	FAMILIA 2
45	12	28	FAMILIA 2
46	13	21	FAMILIA 2
47	5	27	FAMILIA 2
48	11	20	FAMILIA 2

49	12	25	FAMILIA 2
50	10	26	FAMILIA 2
1	69	76	FAMILIA 3
2	70	76	FAMILIA 3
3	75	79	FAMILIA 3
4	69	71	FAMILIA 3
5	75	77	FAMILIA 3
6	74	70	FAMILIA 3
7	69	77	FAMILIA 3
8	66	76	FAMILIA 3
9	72	71	FAMILIA 3
10	72	72	FAMILIA 3
11	70	74	FAMILIA 3
12	67	77	FAMILIA 3
13	70	71	FAMILIA 3
14	70	79	FAMILIA 3
15	71	79	FAMILIA 3
16	66	79	FAMILIA 3
17	69	78	FAMILIA 3
18	68	76	FAMILIA 3
19	68	70	FAMILIA 3
20	69	80	FAMILIA 3
21	67	70	FAMILIA 3
22	68	75	FAMILIA 3
23	67	78	FAMILIA 3
24	71	73	FAMILIA 3
25	65	73	FAMILIA 3
26	71	79	FAMILIA 3
27	67	76	FAMILIA 3
28	69	80	FAMILIA 3
29	74	74	FAMILIA 3
30	69	76	FAMILIA 3
31	67	73	FAMILIA 3
32	70	74	FAMILIA 3
33	75	71	FAMILIA 3
34	66	72	FAMILIA 3
35	75	76	FAMILIA 3
36	74	78	FAMILIA 3
37	65	72	FAMILIA 3
38	68	72	FAMILIA 3
39	75	73	FAMILIA 3
40	72	74	FAMILIA 3
41	65	74	FAMILIA 3
42	69	78	FAMILIA 3
43	74	70	FAMILIA 3
44	70	76	FAMILIA 3
45	74	77	FAMILIA 3
46	70	80	FAMILIA 3
47	72	75	FAMILIA 3
48	68	74	FAMILIA 3
49	73	75	FAMILIA 3
50	75	76	FAMILIA 3

ESTACIÓN N° 02

PUNTO	DIP	DD	FAMILIA
1	81	194	ESTRATO
2	75	194	ESTRATO
3	76	198	ESTRATO
4	77	192	ESTRATO
5	84	200	ESTRATO
6	75	193	ESTRATO
7	76	199	ESTRATO
8	78	196	ESTRATO
9	85	190	ESTRATO
10	79	194	ESTRATO
11	77	198	ESTRATO
12	83	198	ESTRATO
13	81	195	ESTRATO
14	75	195	ESTRATO
15	83	196	ESTRATO
16	84	195	ESTRATO
17	79	200	ESTRATO
18	79	191	ESTRATO
19	82	197	ESTRATO
20	79	197	ESTRATO
21	84	190	ESTRATO
22	78	194	ESTRATO
23	81	192	ESTRATO
24	78	196	ESTRATO
25	79	195	ESTRATO
26	82	195	ESTRATO
27	80	199	ESTRATO
28	76	200	ESTRATO
29	75	199	ESTRATO
30	76	197	ESTRATO
31	78	199	ESTRATO
32	85	196	ESTRATO
33	76	191	ESTRATO
34	79	197	ESTRATO
35	77	199	ESTRATO
36	85	190	ESTRATO
37	80	200	ESTRATO
38	79	197	ESTRATO
39	77	196	ESTRATO
40	79	190	ESTRATO
41	84	191	ESTRATO
42	80	194	ESTRATO
43	77	198	ESTRATO
44	79	197	ESTRATO
45	80	200	ESTRATO
46	85	194	ESTRATO
47	78	191	ESTRATO

48	85	199	ESTRATO
49	79	195	ESTRATO
50	75	199	ESTRATO
1	69	23	FAMILIA 1
2	65	20	FAMILIA 1
3	66	21	FAMILIA 1
4	75	21	FAMILIA 1
5	65	20	FAMILIA 1
6	70	25	FAMILIA 1
7	68	29	FAMILIA 1
8	65	30	FAMILIA 1
9	69	25	FAMILIA 1
10	65	24	FAMILIA 1
11	74	29	FAMILIA 1
12	73	30	FAMILIA 1
13	70	23	FAMILIA 1
14	72	29	FAMILIA 1
15	68	23	FAMILIA 1
16	70	25	FAMILIA 1
17	69	24	FAMILIA 1
18	68	23	FAMILIA 1
19	72	28	FAMILIA 1
20	69	21	FAMILIA 1
21	69	23	FAMILIA 1
22	71	28	FAMILIA 1
23	73	27	FAMILIA 1
24	68	22	FAMILIA 1
25	65	21	FAMILIA 1
26	69	24	FAMILIA 1
27	71	23	FAMILIA 1
28	67	21	FAMILIA 1
29	71	24	FAMILIA 1
30	75	27	FAMILIA 1
31	67	22	FAMILIA 1
32	71	29	FAMILIA 1
33	75	28	FAMILIA 1
34	69	23	FAMILIA 1
35	71	30	FAMILIA 1
36	65	29	FAMILIA 1
37	74	29	FAMILIA 1
38	74	29	FAMILIA 1
39	66	28	FAMILIA 1
40	68	23	FAMILIA 1
41	75	22	FAMILIA 1
42	75	27	FAMILIA 1
43	66	22	FAMILIA 1
44	69	25	FAMILIA 1
45	71	26	FAMILIA 1
46	69	26	FAMILIA 1
47	74	20	FAMILIA 1
48	65	30	FAMILIA 1
49	73	29	FAMILIA 1
50	71	28	FAMILIA 1
1	79	154	FAMILIA 2

2	77	160	FAMILIA 2
3	85	159	FAMILIA 2
4	80	157	FAMILIA 2
5	79	150	FAMILIA 2
6	78	156	FAMILIA 2
7	82	159	FAMILIA 2
8	85	150	FAMILIA 2
9	83	159	FAMILIA 2
10	83	159	FAMILIA 2
11	78	151	FAMILIA 2
12	81	160	FAMILIA 2
13	77	152	FAMILIA 2
14	78	159	FAMILIA 2
15	75	151	FAMILIA 2
16	81	151	FAMILIA 2
17	83	156	FAMILIA 2
18	84	153	FAMILIA 2
19	85	150	FAMILIA 2
20	81	156	FAMILIA 2
21	85	160	FAMILIA 2
22	78	153	FAMILIA 2
23	85	156	FAMILIA 2
24	78	159	FAMILIA 2
25	76	151	FAMILIA 2
26	75	151	FAMILIA 2
27	82	155	FAMILIA 2
28	76	160	FAMILIA 2
29	76	150	FAMILIA 2
30	77	153	FAMILIA 2
31	79	150	FAMILIA 2
32	85	150	FAMILIA 2
33	79	153	FAMILIA 2
34	78	160	FAMILIA 2
35	80	157	FAMILIA 2
36	84	153	FAMILIA 2
37	81	156	FAMILIA 2
38	76	155	FAMILIA 2
39	83	154	FAMILIA 2
40	79	154	FAMILIA 2
41	84	153	FAMILIA 2
42	76	155	FAMILIA 2
43	85	153	FAMILIA 2
44	76	156	FAMILIA 2
45	79	154	FAMILIA 2
46	85	155	FAMILIA 2
47	82	157	FAMILIA 2
48	77	160	FAMILIA 2
49	84	158	FAMILIA 2
50	81	157	FAMILIA 2

ESTACIÓN N° 03

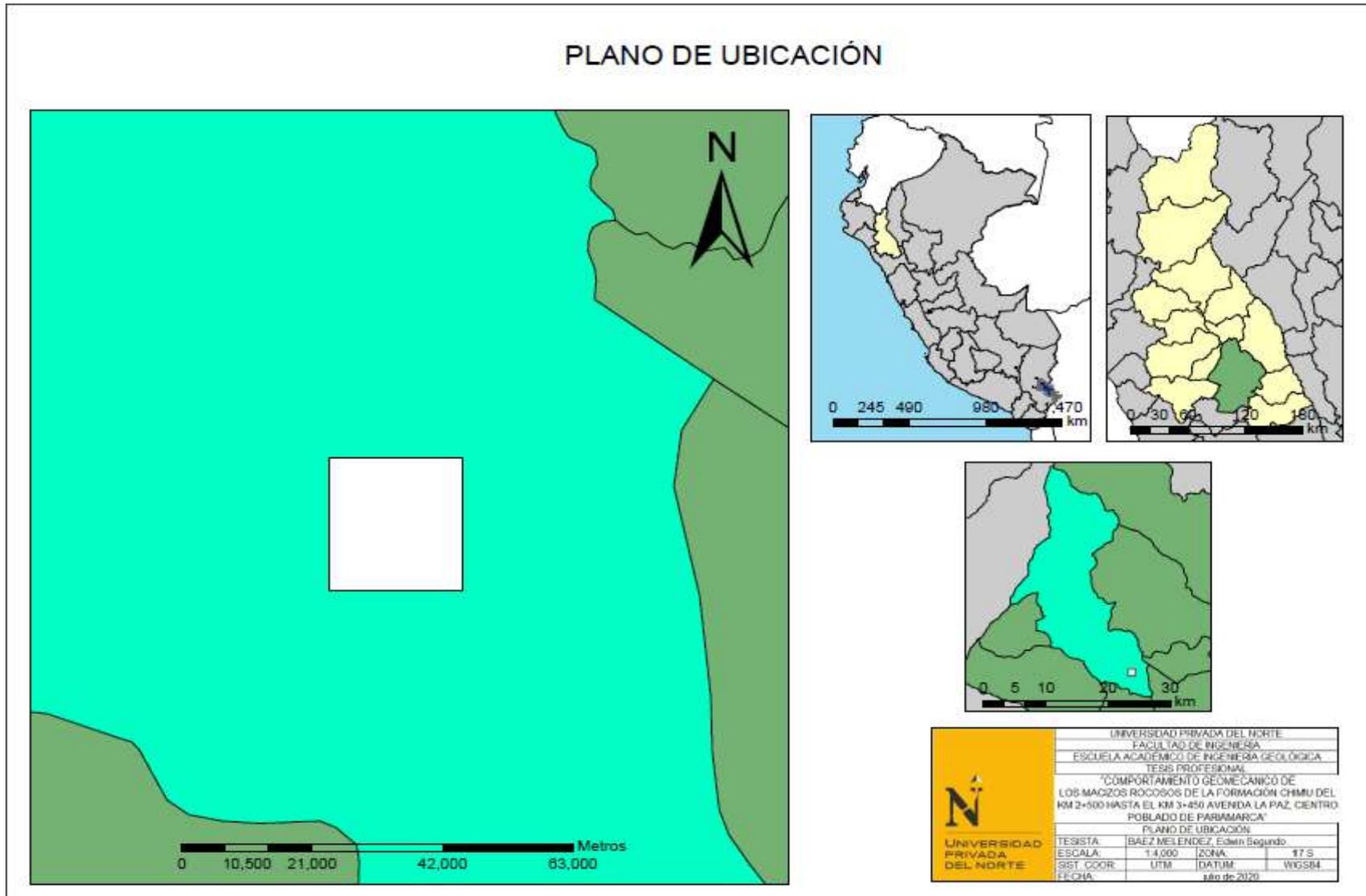
PUNTO	DIP	DD	FAMILIA
1	80	195	ESTRATO
2	85	191	ESTRATO
3	79	194	ESTRATO
4	84	190	ESTRATO
5	84	199	ESTRATO
6	80	191	ESTRATO
7	78	200	ESTRATO
8	77	194	ESTRATO
9	75	194	ESTRATO
10	84	198	ESTRATO
11	77	192	ESTRATO
12	76	195	ESTRATO
13	75	195	ESTRATO
14	80	199	ESTRATO
15	83	197	ESTRATO
16	78	197	ESTRATO
17	79	200	ESTRATO
18	80	199	ESTRATO
19	79	192	ESTRATO
20	77	198	ESTRATO
21	80	191	ESTRATO
22	80	196	ESTRATO
23	76	196	ESTRATO
24	83	197	ESTRATO
25	82	197	ESTRATO
26	79	198	ESTRATO
27	80	194	ESTRATO
28	77	197	ESTRATO
29	79	193	ESTRATO
30	79	191	ESTRATO
31	81	190	ESTRATO
32	85	198	ESTRATO
33	78	192	ESTRATO
34	85	195	ESTRATO
35	84	199	ESTRATO
36	76	191	ESTRATO
37	79	196	ESTRATO
38	76	198	ESTRATO
39	79	195	ESTRATO
40	79	200	ESTRATO
41	85	196	ESTRATO
42	81	198	ESTRATO
43	81	194	ESTRATO
44	75	190	ESTRATO
45	75	196	ESTRATO
46	78	191	ESTRATO
47	78	198	ESTRATO
48	79	196	ESTRATO

49	84	190	ESTRATO
50	83	200	ESTRATO
1	71	77	FAMILIA 1
2	67	75	FAMILIA 1
3	69	77	FAMILIA 1
4	69	70	FAMILIA 1
5	71	80	FAMILIA 1
6	73	78	FAMILIA 1
7	65	76	FAMILIA 1
8	67	75	FAMILIA 1
9	66	70	FAMILIA 1
10	72	80	FAMILIA 1
11	67	70	FAMILIA 1
12	69	73	FAMILIA 1
13	71	80	FAMILIA 1
14	69	80	FAMILIA 1
15	72	74	FAMILIA 1
16	73	79	FAMILIA 1
17	75	74	FAMILIA 1
18	70	76	FAMILIA 1
19	74	79	FAMILIA 1
20	65	80	FAMILIA 1
21	66	71	FAMILIA 1
22	72	72	FAMILIA 1
23	75	71	FAMILIA 1
24	70	72	FAMILIA 1
25	65	79	FAMILIA 1
26	72	71	FAMILIA 1
27	73	73	FAMILIA 1
28	70	79	FAMILIA 1
29	72	71	FAMILIA 1
30	71	73	FAMILIA 1
31	70	76	FAMILIA 1
32	68	78	FAMILIA 1
33	73	79	FAMILIA 1
34	75	72	FAMILIA 1
35	72	78	FAMILIA 1
36	69	78	FAMILIA 1
37	72	80	FAMILIA 1
38	73	74	FAMILIA 1
39	72	73	FAMILIA 1
40	73	70	FAMILIA 1
41	69	74	FAMILIA 1
42	74	74	FAMILIA 1
43	66	73	FAMILIA 1
44	75	73	FAMILIA 1
45	68	73	FAMILIA 1
46	73	78	FAMILIA 1
47	73	72	FAMILIA 1
48	67	78	FAMILIA 1
49	68	73	FAMILIA 1
50	69	76	FAMILIA 1
1	84	195	FAMILIA 2
2	84	200	FAMILIA 2

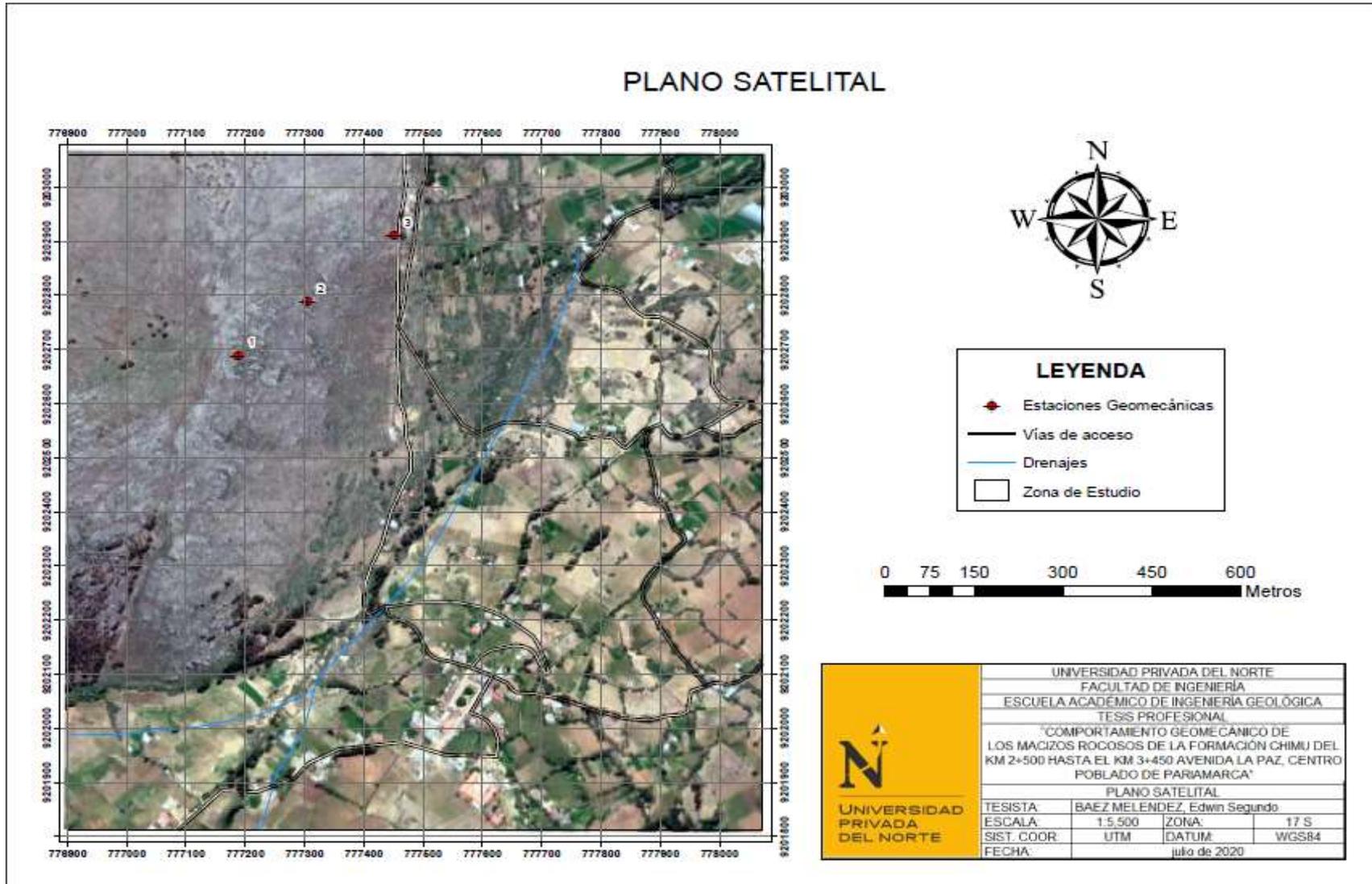
3	81	196	FAMILIA 2
4	82	194	FAMILIA 2
5	86	196	FAMILIA 2
6	81	194	FAMILIA 2
7	85	195	FAMILIA 2
8	86	196	FAMILIA 2
9	88	197	FAMILIA 2
10	81	197	FAMILIA 2
11	85	191	FAMILIA 2
12	84	191	FAMILIA 2
13	84	191	FAMILIA 2
14	86	197	FAMILIA 2
15	81	196	FAMILIA 2
16	83	190	FAMILIA 2
17	87	192	FAMILIA 2
18	82	192	FAMILIA 2
19	81	199	FAMILIA 2
20	83	199	FAMILIA 2
21	89	192	FAMILIA 2
22	80	193	FAMILIA 2
23	89	197	FAMILIA 2
24	89	193	FAMILIA 2
25	80	200	FAMILIA 2
26	83	191	FAMILIA 2
27	82	198	FAMILIA 2
28	82	200	FAMILIA 2
29	87	195	FAMILIA 2
30	89	190	FAMILIA 2
31	87	198	FAMILIA 2
32	88	199	FAMILIA 2
33	84	200	FAMILIA 2
34	88	194	FAMILIA 2
35	81	193	FAMILIA 2
36	81	195	FAMILIA 2
37	89	199	FAMILIA 2
38	87	198	FAMILIA 2
39	87	190	FAMILIA 2
40	88	196	FAMILIA 2
41	88	195	FAMILIA 2
42	82	192	FAMILIA 2
43	83	197	FAMILIA 2
44	82	196	FAMILIA 2
45	88	200	FAMILIA 2
46	84	192	FAMILIA 2
47	86	197	FAMILIA 2
48	86	191	FAMILIA 2
49	86	195	FAMILIA 2
50	88	195	FAMILIA 2
1	71	345	FAMILIA 3
2	73	341	FAMILIA 3
3	74	345	FAMILIA 3
4	67	347	FAMILIA 3
5	67	345	FAMILIA 3
6	72	349	FAMILIA 3

7	69	348	FAMILIA 3
8	69	341	FAMILIA 3
9	66	343	FAMILIA 3
10	73	341	FAMILIA 3
11	67	348	FAMILIA 3
12	70	342	FAMILIA 3
13	75	350	FAMILIA 3
14	70	347	FAMILIA 3
15	75	343	FAMILIA 3
16	74	349	FAMILIA 3
17	74	344	FAMILIA 3
18	71	341	FAMILIA 3
19	69	345	FAMILIA 3
20	71	345	FAMILIA 3
21	67	350	FAMILIA 3
22	68	348	FAMILIA 3
23	70	340	FAMILIA 3
24	65	346	FAMILIA 3
25	69	341	FAMILIA 3
26	74	348	FAMILIA 3
27	66	345	FAMILIA 3
28	73	345	FAMILIA 3
29	69	341	FAMILIA 3
30	73	342	FAMILIA 3
31	74	349	FAMILIA 3
32	69	345	FAMILIA 3
33	71	343	FAMILIA 3
34	72	343	FAMILIA 3
35	71	342	FAMILIA 3
36	73	349	FAMILIA 3
37	68	341	FAMILIA 3
38	65	350	FAMILIA 3
39	67	350	FAMILIA 3
40	70	344	FAMILIA 3
41	73	341	FAMILIA 3
42	69	347	FAMILIA 3
43	75	346	FAMILIA 3
44	73	340	FAMILIA 3
45	74	344	FAMILIA 3
46	74	350	FAMILIA 3
47	72	350	FAMILIA 3
48	73	348	FAMILIA 3
49	69	341	FAMILIA 3
50	65	345	FAMILIA 3

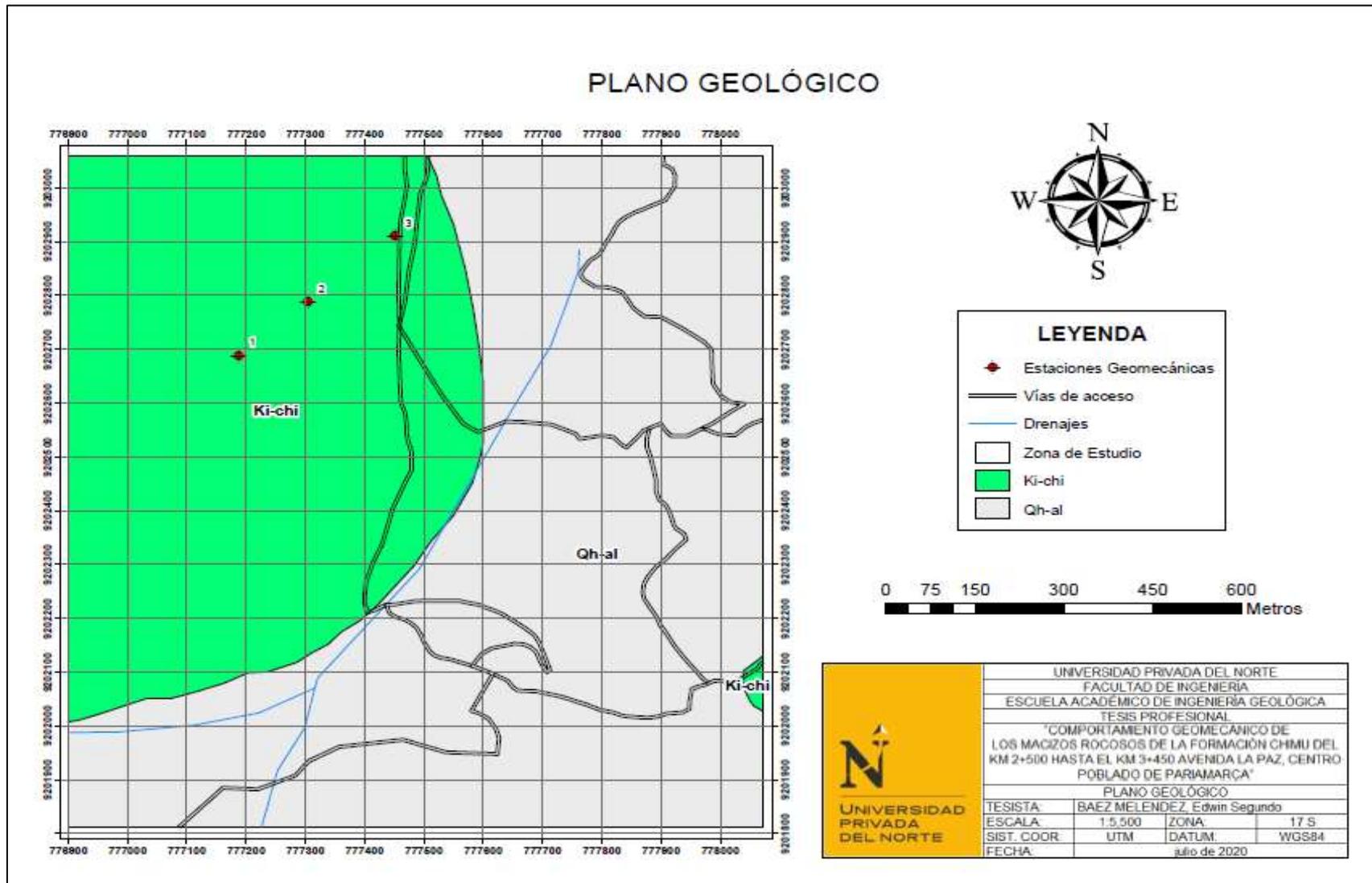
ANEXO 03: PLANO DE UBICACIÓN



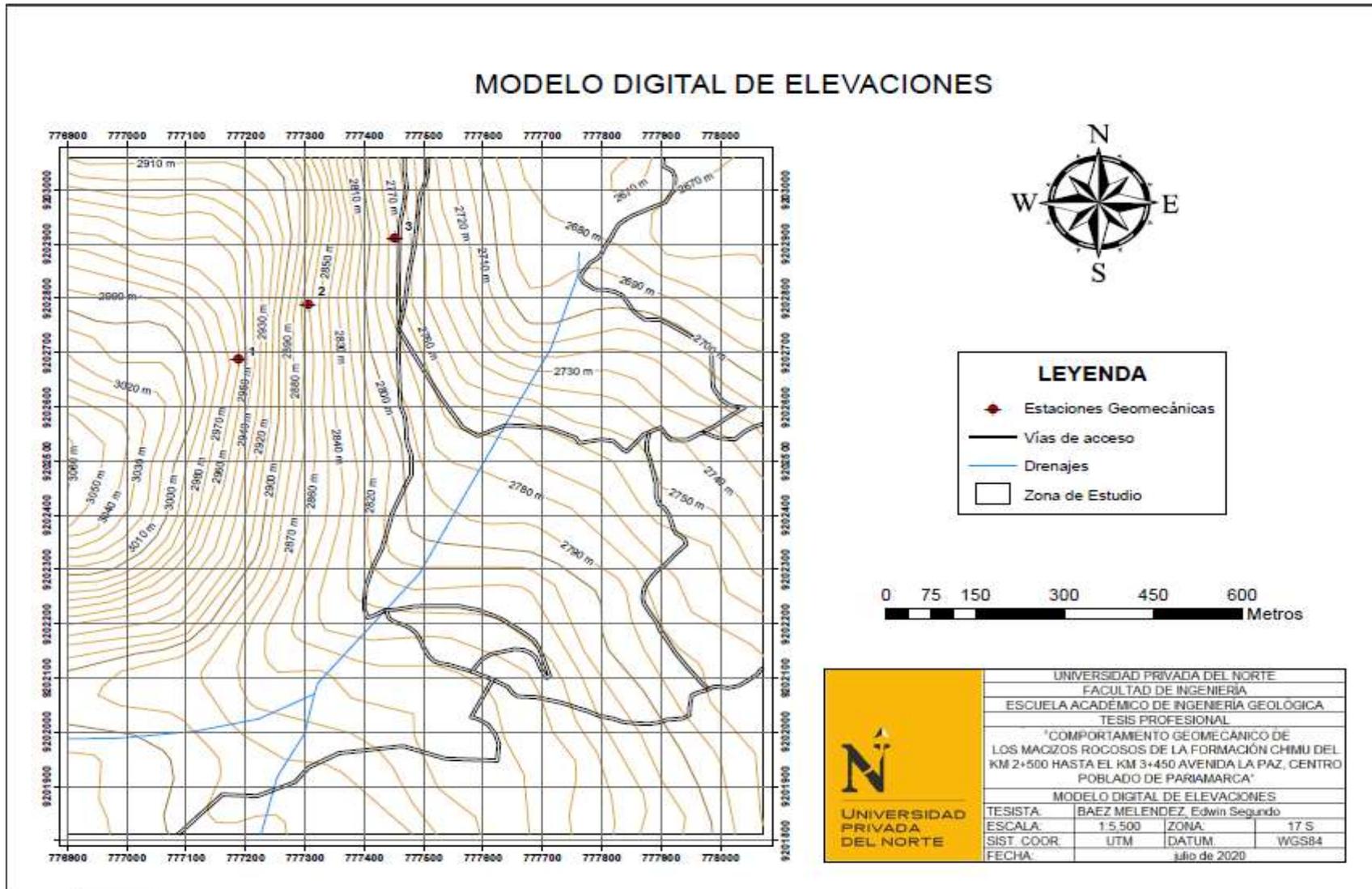
ANEXO 04: PLANO SATELITAL



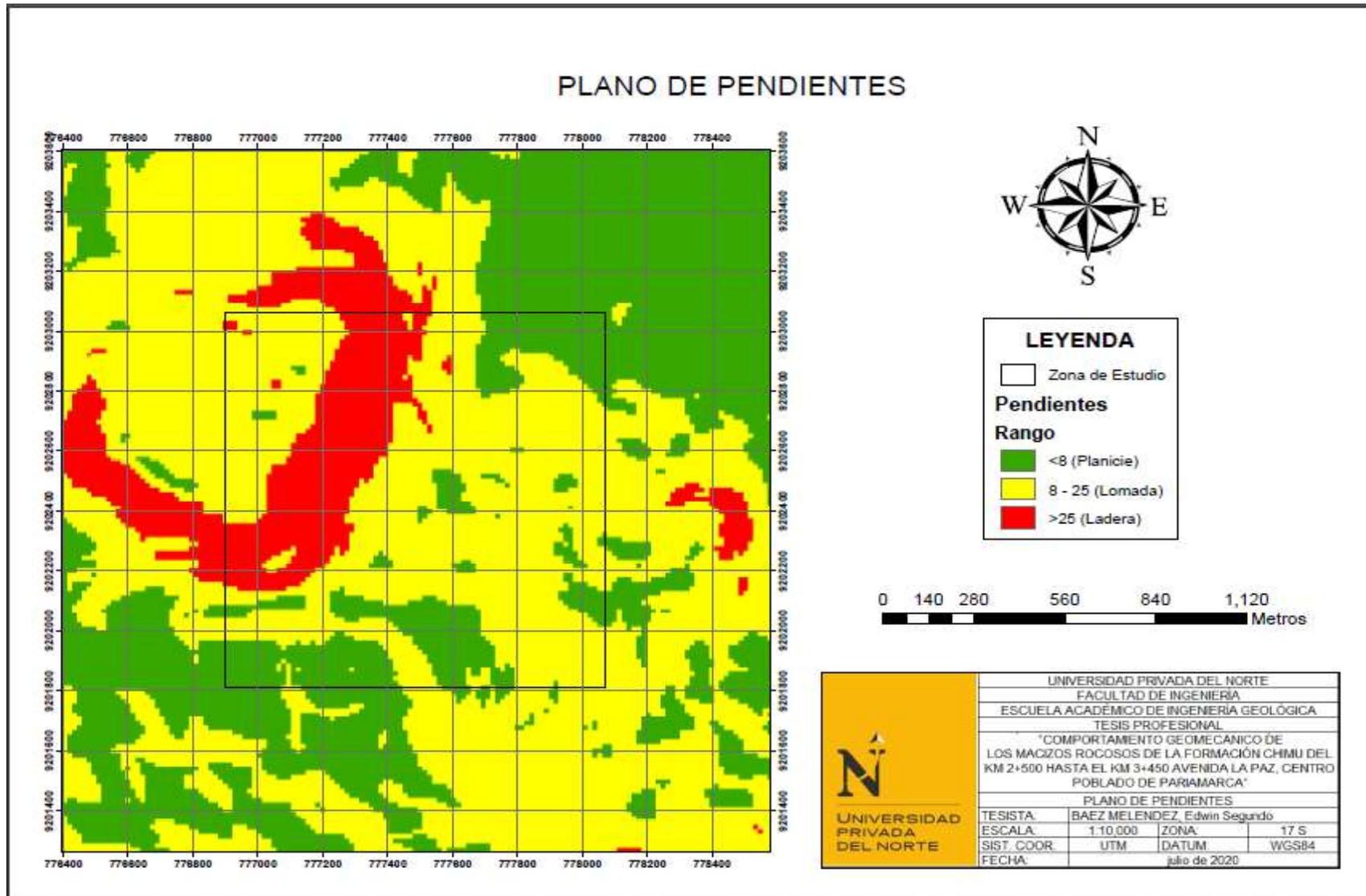
ANEXO 05: PLANO GEOLÓGICO



ANEXO 06: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



ANEXO 07: PLANO DE PENDIENTES



ANEXO 08: PLANO GEOMECÁNICO

