



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA Y GEOTÉCNICA  
DEL MATERIAL DE CIMENTACIÓN DE LOS ESTRIBOS  
DEL PUENTE QUINDÉN BAJO, DISTRITO EL PRADO –  
CAJAMARCA, 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Alvaro José Huaylla Larrea

Asesor:

Mg. Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2022

## DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mis queridos padres José Huaylla y Blanca Larrea, quienes siempre me brindaron su incondicional apoyo, confianza, comprensión y amor.  
A mi hermanito Carlos Huaylla (Q.E.P.D) porque es mi angelito que desde el cielo me bendice y me cuida siempre.  
A mi querida familia, por confiar siempre en mí, por su apoyo, cariño y por esos consejos que me ayudaron a lograr mis objetivos.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco eternamente a Dios por estar siempre conmigo, por guiarme por el camino del bien, por darme la fortaleza en los momentos difíciles, salud e inteligencia para culminar con éxito mi carrera profesional.

Del mismo modo, quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor Ing. Daniel Alva Huamán, por brindarme su valioso apoyo a través de sus conocimientos, experiencia, paciencia y disposición para despejar cualquier duda que tuve durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis amigos Alex Valdivia y Renato Abanto por el apoyo incondicional e desinteresado.

A mi enamorada Karen Zárate por el apoyo emocional y moral, en especial durante los momentos de frustración.

A mis amados padres por ofrecerme siempre su apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento, y por el gran amor que me tienen.

Eternamente estaré agradecido hacia todos ustedes.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1	
Acceso al área de investigación.....	21
Tabla 2	
Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 01.....	31
Tabla 3	
Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 01.....	32
Tabla 4	
Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 01.....	33
Tabla 5	
RQD, estación geomecánica 01.....	34
Tabla 6	
Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 01.....	35
Tabla 7	
Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 01.....	35
Tabla 8	
Abertura, estación geomecánica 01.....	36
Tabla 9	
Rugosidad, estación geomecánica 01.....	37
Tabla 10	
Relleno, estación geomecánica 01.....	38
Tabla 11	
Alteración, estación geomecánica 01.....	38
Tabla 12	
Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 01.....	39
Tabla 13	
Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 01.....	40
Tabla 14	
Clasificación RMR, estación geomecánica 01.....	40

Tabla 15	
Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 02.....	41
Tabla 16	
Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 02.....	42
Tabla 17	
Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 02.....	42
Tabla 18	
RQD, estación geomecánica 02.....	43
Tabla 19	
Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 02.....	44
Tabla 20	
Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 02.....	45
Tabla 21	
Abertura, estación geomecánica 02.....	46
Tabla 22	
Rugosidad, estación geomecánica 02.....	47
Tabla 23	
Relleno, estación geomecánica 02.....	48
Tabla 24	
Alteración, estación geomecánica 02.....	48
Tabla 25	
Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 02.....	49
Tabla 26	
Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 02.....	50
Tabla 27	
Clasificación RMR, estación geomecánica 02.....	50
Tabla 28	
Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 03.....	51
Tabla 29	
Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 03.....	52

Tabla 30	
Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 03.....	52
Tabla 31	
RQD, estación geomecánica 03.....	54
Tabla 32	
Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 03.....	54
Tabla 33	
Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 03.....	55
Tabla 34	
Abertura, estación geomecánica 03.....	56
Tabla 35	
Rugosidad, estación geomecánica 03.....	57
Tabla 36	
Relleno, estación geomecánica 03.....	58
Tabla 37	
Alteración, estación geomecánica 03.....	59
Tabla 38	
Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 03.....	59
Tabla 39	
Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 03.....	60
Tabla 40	
Clasificación RMR, estación geomecánica 03.....	61
Tabla 41	
Resumen de resultados de las Clasificaciones Geomecánicas.....	66
Tabla 42	
Resumen de las características geotécnicas del suelo.....	66
Tabla 43	
Contenido de Sulfatos.....	67
Tabla 44	
Capacidad admisible de los suelos.....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Plano de ubicación geográfica del área de estudio.....	21
Figura 2. Plano de Accesibilidad al área de estudio.....	22
Figura 3. Vegetación del área de estudio.....	22
Figura 4. Centros Eruptivos del Grupo Calipuy.....	23
Figura 5. Volcánico Yatahual pseudoestratificado.....	24
Figura 6. Discordancia angular entre las formaciones de la Formación Pariatambo (1), cubiertas por depósitos de la Secuencia Chilete-Ayambra (2).....	25
Figura 7. Deposito Coluvial 01.....	26
Figura 8. Deposito Coluvial 02.....	26
Figura 9. Depósitos aluviales y fluviales en los márgenes del río Jequetepeque.....	27
Figura 10. Muestra 01.....	27
Figura 11. Muestra 02.....	28
Figura 12. Muestra 03.....	28
Figura 13. Plano Geológico del área de estudio.....	29
Figura 14. Rocas Andesitas pseudoestratificadas.....	29
Figura 15. Geomorfología del área de estudio.....	30
Figura 16. Plano Geomorfología del área de estudio.....	31
Figura 17. Delimitación de la estación geomecánica 01.....	32
Figura 18. Toma de Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 01.....	33
Figura 19. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 01.....	34
Figura 20. Midiendo el espaciamiento de las discontinuidades, estación geomecánica 01.....	35
Figura 21. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 01.....	36
Figura 22. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 01.....	37
Figura 23. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 01.....	37
Figura 24. Analizando el relleno, estación geomecánica 01.....	38

Figura 25. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 01.....	39
Figura 26. Delimitación de la estación geomecánica 02.....	41
Figura 27. Tomando la Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 02..	42
Figura 28. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 02.....	44
Figura 29. Midiendo la separación de las discontinuidades, estación geomecánica 02....	45
Figura 30. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 02...	46
Figura 31. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 02.....	47
Figura 32. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 02.....	47
Figura 33. Analizando el relleno, estación geomecánica 02.....	48
Figura 34. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 02.....	49
Figura 35. Delimitación de la estación geomecánica 03.....	51
Figura 36. Tomando la Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 03..	53
Figura 37. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 03.....	54
Figura 38. Midiendo la separación de las discontinuidades, estación geomecánica 03....	55
Figura 39. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 03...	56
Figura 40. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 03.....	57
Figura 41. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 03.....	58
Figura 42. Analizando el relleno, estación geomecánica 03.....	58
Figura 43. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 02.....	59
Figura 44. Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 01. Vista de foto Suroeste.....	61
Figura 45. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 01...	62
Figura 46. Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 02. Vista de foto Suroeste.....	63
Figura 47. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 02...	63
Figura 48. Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 03. Vista de foto al Sur.....	64
Figura 49. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 01...	65
Figura 50. Macizo Rocosos del área de estudio, margen izquierdo.....	79

Figura 50. Macizo Rocoso del área de estudio, margen izquierdo.....	79
Figura 51. Identificación de suelo presente en el margen derecho.....	79
Figura 52. Midición de rumbos y buzamientos.....	79
Figura 53. Perfiles de Rugosidad con el coeficiente de rugosidad (JRC).....	79
Figura 54. Puente Modular y sus dispositivos de control de tránsito.....	79

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág
Ecuación 01: RQD mediante Priest y Hudson (1979).....	33
Ecuación 02: Cálculo de RMR.....	40

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo. Se efectuó una investigación de tipo aplicada, de nivel descriptiva – correlacional, diseño de investigación no experimental y transversal, y un enfoque cuantitativo y cualitativo. Como resultados se obtuvo que el material de cimentación son los adecuados para los estribos del puente Quindén bajo. En el margen izquierdo del puente Quindén Bajo, se sectorizó en 03 estaciones geomecánicas el macizo rocoso para estimar la calidad por medio del RMR, se obtuvo un valor promedio de 58, siendo este de calidad Media, y un GSI con valor promedio de 66. En la calicata C-1 se identificó, suelos compuestos por arenas arcillosas de color marrón claro, húmedas con partículas subredondeadas a sub angulosas (SC) y la calicata C-2 se presenta gravas limosas mal graduada, húmedas, de color marrón claro, con partículas sub angulares a sub redondeadas (GP-GM). Se obtuvo una carga admisible del suelo de 1.65 Kg/cm<sup>2</sup>, y la roca presenta una carga admisible de 2.50 Kg/cm<sup>2</sup>. El material de cimentación es favorable para soportar la estructura del puente Quindén Bajo, pero se recomienda cimentar sobre roca, ya que presenta mejores características geotécnicas.

**Palabras clave:** Características geomecánicas-geotécnicas, calidad de la roca, mecánica de suelos, cimentación.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Debido a la ocurrencia de desastres naturales, el Perú es considerado un país de alto riesgo por su ubicación en la región del Cinturón de Fuego del Pacífico y cerca de los trópicos, donde ocurren los mayores eventos sísmicos y fenómenos meteorológicos asociados al Fenómeno del niño. Este fenómeno produce mayor humedad, a su vez conduce a un aumento de precipitaciones, lo que genera peligros geológicos como erupciones volcánicas, terremotos, flujo de detritos (huaicos), derrumbes, caídas rocas, deslizamientos, etc. Una de las zonas más afectadas por el fenómeno del Niño Costero es la región de Cajamarca. Entre enero y marzo de 2017 ocurrieron las mayores pérdidas por inundaciones y erosión fluvial, causando daños a poblaciones, proyectos de infraestructura y tierras agrícolas, siendo las provincias de Contumazá y San Miguel las zonas más críticas. En sector de Quindén Bajo, el crecimiento anormal de los ríos Pallac y Jequetepeque ha provocado erosión fluvial, afectando los canales de regadío y puentes, dañando el acceso principal al centro poblado (Del Pino, Trelles & Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2005; Medina, Ramos, Latorre & Gonzales, 2017).

Frente al evidente deterioro por falta de cuidado y mantenimiento, el 16 de junio de 2017, Provias Descentralizado y el contratista Consorcio San Miguel suscribieron el contrato de prestación de servicios conjuntos para la instalación de puentes - Paquete 5: Puente Quindén; y de acuerdo a las especificaciones técnicas, se decidió reemplazar el puente antiguo por una estructura de tipo Bailey.

Ante esa situación, el estudio tiene como objetivo determinar las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo, puesto que no existe suficiente información acerca de trabajos de caracterización y clasificación del material presente en el área donde se considera emplazar la estructura, que complemente y garantice un trabajo eficiente, adecuado y satisfactorio.

Se identificó que la estructura del puente de Quindén Bajo se hallan descansando en roca y suelo; para eludir desastres se sugiere un análisis por medio de ensayos “in situ” y de laboratorio para conocer las propiedades físico-mecánica y las condiciones de la cimentación, de modo que brinde seguridad en su estabilidad,

diseño y procedimientos de ejecución y control; sin suficiente investigación, el diseño final va a ser técnico y económicamente inadecuado y la estructura podría ser problemática a corto o largo plazo (Garrido, 1992; Morales, 2014).

El suelo o terreno juega un papel decisivo como elemento de soporte de los elementos estructurales que se colocan sobre él; las cargas transferidas por la cimentación a las capas del terreno provocan tensiones, y por tanto deformaciones, a su vez producen asentamientos de las superficies de contacto entre la cimentación y el terreno. Por ello, las partículas del terreno se analizan como elementos de soporte, se refiere a un estudio de su estructura y componentes físicos, mecánicos y químicos, para comprender su comportamiento frente a cimentaciones superficiales, profundas, con cargas estáticas o dinámicas aplicadas sobre el mismo. Además, se complementa con estudios topográficos, edafológicos, geológicos e hidrogeológicos (Capote, 2011).

Además, la descripción y caracterización de las propiedades del macizo rocoso es esencial en cualquier proyecto de ingeniería para asegurar la estabilidad y seguridad ante excavaciones, cimentaciones o cualquier otra actividad con fines constructivos o extractivos que implique un cambio en su estado natural, y por lo menos asumir cuál será su comportamiento posterior; por su importancia, tienen que constituir la fase preliminar de las investigaciones in situ, ya que se utilizarán para etapas posteriores (Ferrer y González, 1999; Gonzáles, Ferrer, Ortuño & Oteo, 2002; Cartaya, 2011). Por ser un material complejo y discontinuo, el macizo rocoso muestra una diversidad de propiedades y cualidades, lo que condiciona y complica su descripción; la caracterización del macizo rocoso es un trabajo sistemático, que implica identificar, medir y describir los rasgos que son observables a simple vista (Gonzáles et al., 2002; Chura, 2016).

Para comprender mejor este estudio, es necesario conocer ciertos términos, que se definen a continuación.

Clasificación geomecánica evalúa las características del macizo rocoso, de manera cuantitativa para obtener su calidad por medio de observaciones de campo y ensayos simples (Ramírez & Alejano, 2004).

Rock Quality Designation (RQD), introducido por Deere et al. (1967), estima de forma cuantitativa la calidad de la masa rocosa; en ausencia de testigos de sondeos, se emplea las correlaciones empíricas (Deere, D.U. y Deere, D.W., 1988). En esta

investigación se empleará la ecuación propuesta por Priest y Hudson (1979). (ver Ecuación 01)

Rock Mass Rating (RMR), sistema desarrollado por Bieniawski en los años 1972-1973, valora la calidad del macizo rocoso por medio de los siguientes parámetros: (1) Resistencia de la roca intacta, (2) RQD %, (3) Espaciamiento de las discontinuidades, (4) Condición de las discontinuidades, (5) Agua subterránea. Se obtiene con la suma de estos parámetros  $RMR = (1)+(2)+(3)+(4)+(5)$  (Bieniawski, 1979). (ver Ecuación 02)

GSI, sistema de caracterización, especialmente para macizos difíciles de describir, es decir, de calidad mala, postulado por Hoek (1994). Se fundamenta en una evaluación cualitativa y visual de las propiedades geológicas en campo, se califica la calidad de la masa en función a la estructura geológica y condición de la superficie de las juntas; se recopila datos confiables para definir la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso (Marinos, P; Marinos, V. y Hoek, E. 2007, como se citó en Marinos, P., Marino, V., Hoek, E., s.f).

La cimentación, parte de la roca o suelo que soporta una estructura y recibe, directa o indirectamente, todas las fuerzas de ella (Meza, 1998, como se citó en Ortiz, 2019).

Análisis granulométrico es un ensayo para definir cuantitativamente la distribución de los tamaños de partículas del suelo por medio del tamizado, según a las especificaciones técnicas (Llanos, 2013; Huarcaya y Huacho, 2015; Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2016; Aduato & Cheong, 2018).

Límite líquido (LL) se define como el mayor contenido de humedad, el suelo se encuentra entre los estados de consistencia líquido y plástico (Huarcaya & Huacho, 2015; MTC, 2016).

Límite plástico (LP) el suelo muestra un contenido de humedad más baja, se encuentra entre los estados semisólido y plástico, se puede formar barritas de suelos sin romperse (Huarcaya & Huacho, 2015; MTC, 2016).

Capacidad portante es la condición del subsuelo para tolerar las cargas que actúan sobre él, técnicamente es la máxima presión media creada entre la estructura y el subsuelo, sin que se produzca un fallo (Neyra, 2019).

Asentamiento es el hundimiento progresivo de una estructura (Aduato & Cheong, 2018).

Cohesión; resistencia al corte cuando la presión normal es cero. Es la propiedad que mantiene unidas las partículas por medio de una fuerza de atracción y varía con la humedad (Martínez, 2003; Adatao & Cheong, 2018).

(Romero, 2004) en su tesis “Geología y Geotécnica con fines de construcción de puentes - análisis del puente internacional Agua Verdes-Tumbes”. Se concluye que, la obra proyecta se emplaza en una zona llana, se identifica inundaciones, por ello se recomienda elevar la rasante en 1.20m. Según perforaciones rotatorias (ensayo SPT) y ensayos de laboratorio, se distingue suelos SM, SC de 52 Tn de carga admisible y SC, ML de 114 Tn, margen izquierdo; GC de 105 Tn de carga admisible, margen derecho. Se emplea suelos arena limosas y arcillas como material de cimentación debido a sus buenas propiedades mecánicas.

(MTI, 2008) “Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos”, se propone normalizar lineamientos mínimos para todo proyecto de construcción vial, enfocado en el estudio geotécnico de suelos y materiales presentes en el área, perfeccionado con estudios geológicos. Los parámetros del suelo se emplea para el diseño, cálculos de estabilidad y para establecer criterios según el tipo de proyecto. Se espera que este manual sea una herramienta para futuras investigaciones.

(Bendezu et al., 2013) en el estudio: “Construcción del Puente Carrozable de Interconexión Rumichaca – Yanamilla”. Se puede afirmar que no existe riesgo geodinámico que dañe la estructura. Estribo derecho, está compuesta de arena y grava, con escasos finos y subyace roca sólida. Según RMR y Palmstrom, la roca volcánica (toba) expuesta en el estribo izquierdo es una roca de baja calidad, capacidad portante de 12,14 Kg/cm<sup>2</sup> y un factor de seguridad a largo plazo. Se recomienda, en el estribo derecho situar la masa rocosa para la cimentación.

Culqui (2013) en la tesis "Estudio del puente San Juan". De acuerdo a los estudios básicos para el desarrollo del proyecto, se determinó que el área muestra una topografía ondulada, márgenes derecha e izquierda según SUCS y AASHTO, se exhibe suelos CL (A7-6) y GW-GM (A1-a); material de cimentación es un suelo tipo grava bien gradada con limo, carga admisible es de 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>, profundidad de cimentación es de 300cm. La obra produce un efecto ambiental moderado.

(MTC, 2016) el “Manual de diseño de puentes”, se basa en las especificaciones técnicas de las normas americanas AASHTO LRFD, séptima edición del 2014. Este manual facilita normas técnicas necesarias para el planteamiento, análisis y el

diseño de puentes carreteros; se refiere al uso de ingeniería básica que incluye estudios geológicos, topográficos, geotécnicos e hidrológicos, y se dictamina estudios mínimos dependiendo de la importancia del proyecto.

Gómez (2018) en su trabajo fin de máster "Caracterización geomecánica preliminar de la Formación Naranco". Se puede concluir que la litología son areniscas ferruginosas y areniscas blancas sin bandeado; 13 estaciones geomecánicas se identifican rocas de grado II y IV de alteración, la resistencia fluctúa entre 26 a 101 Mpa y 4 familias discontinuas. Se analizó la masa rocosa y discontinuidades, RQD de calidad "aceptable", se distingue 3 litotipos, y se cuantificó utilizando GSI, RMR y Q, lo que da como resultados macizos rocosos de calidad mala a media.

(Quintana, 2019) en su tesis "Evaluación geomecánica del puente La Cultura Uchumayo – Arequipa". Se han obtenido condiciones de cimentación favorables, y se proponen la construcción de dos puentes. Según RQD y RMR, se recomienda una profundidad mínima de cimentación de 10 a 15 m para apoyos centrales, de 5 a 10 m para estribos,  $RQD < 25\%$  o zonas de falla, se debe remover material, hasta 1 a 2 m. Por sus componentes químicos, el suelo volcánico residual no debe entrar en contacto directo con las estructuras de concreto a menos se use cemento tipo V.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

- Determinar las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar la calidad del macizo rocoso, sobre el cual se construirán los estribos del puente Quindén bajo, mediante el cálculo del RMR de Bieniawski<sup>89</sup> y el GSI de Hoek & Marinos.
- Realizar el estudio geotécnico de suelos.

- Establecer la capacidad admisible del material de cimentación.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

- Las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación presentan buena calidad y capacidad portante óptimo para los estribos del puente Quindén Bajo.

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

Según su propósito se inclinó por una investigación de tipo aplicada, nivel de investigación es Descriptivo – Correlacional, con un diseño de investigación no experimental – transversal y con un enfoque de investigación cuantitativo y cualitativo (Oblitas, 2018).

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

#### **Población**

Está comprendido por todo el material geológico de Quindén Bajo.

#### **Muestra**

Está definido por el material de cimentación del puente Quindén Bajo, sobre los cuales descansan los estribos.

#### **Materiales y Equipos**

En las distintas etapas de este proceso de investigación se emplearon los siguientes materiales y equipos: Cámara fotográfica, brújula Brunton Azimutal, GPSmap 60CSx GARMIN, picota geológica, ácido clorhídrico 10%, rayador, lupa, martillo de Schmidt, peine de Barton, fluxómetros de 5m y 20m, regla de 20cm, bolsas de muestreo, tablero, lápices, plumones y colores, laptop, planos de ubicación, topográfico, geológico, tablas y ábacos.

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Para la recopilación de datos e información se consideraron los siguientes puntos, se aplicaron técnicas de observación, delimitación directa y deducción.

Se utilizaron instrumentos de recolección como las tablas de valoración de RMR, RQD y GSI.

Finalmente, el análisis de datos constará de cuatro fases, de las cuales las dos primeras serán de recolección de información bibliográfica y de campo, mientras que los dos restantes incluyen el análisis e interpretación de datos obtenidos en in situ, laboratorio y gabinete.

### **2.4. Procedimiento**

#### **Etapas Preliminares Gabinete:**

En esta fase se buscó establecer el área de investigación a través de Google Earth. Se utilizaron imágenes satelitales y shapefiles de Google Earth y GEOCATMIN, respectivamente, para preparar planos base de ubicación, accesibilidad, topográfico, geológico y geomorfológico. Asimismo, se efectuó una búsqueda meticulosa para la recolección, revisión e integración bibliográfica de distintas fuentes como: libros, tesis e información relacionada al estudio a desarrollar. Por otro lado, se define la estructura del estudio y su desarrollo de acuerdo al cronograma establecido para su presentación final.

#### **Etapas de Campo:**

Esta fase es la parte experimental de la investigación, que incluyó el reconocimiento del área para identificar la litología, formaciones y estructuras. Luego, se sectorizó en tres estaciones geomecánicas el macizo rocoso, donde se emplaza el puente Quindén Bajo. Seguido, se analizó las distintas características geomecánicas (resistencia, abertura, separación, relleno, continuidad, entre otros). Posteriormente,

se tomó puntos GPS en cada estación y se procedió a caracterizar y clasificar geomecánicamente la masa rocosa en cada sector, para ello se emplearon las clasificaciones geomecánicas RMR, RQD y GSI, se tomaron muestras para estudios macroscópicos de la roca. Por otro lado, se excavaron 02 calicatas en ambos márgenes y se realizó un análisis manual visual para su identificación de estratos, y se recolectó muestras de suelo para su análisis en laboratorio. Asimismo, se registró todo el proceso con fotografías.

### **Etapas de Gabinete:**

En esta fase, se procede al análisis, interpretación y procesamiento de la información obtenida en campo, efectuando una evaluación discernida e integral de los macizos rocosos, que permite determinar su comportamiento y las características del mismo; de manera que, al culminar las etapas anteriores, se finaliza con la elaboración y entrega del informe final.

## **CAPÍTULO III. RESULTADOS**

### **3.1. Generalidades**

#### **3.1.1. Ubicación Geográfica**

El área de estudio se ubica geográficamente en la Cordillera Occidental de los Andes en el norte del Perú, al Suroeste de la ciudad de Cajamarca, a 110 Km de esta, en el centro poblado Quindén Bajo, en el distrito de El Prado, provincia de San Miguel y departamento de Cajamarca, además se sitúa en el cuadrángulo 15e de la carta geológica nacional, con coordenadas UTM, datum WGS84, Zona 17S.

#### **3.1.2. Ubicación Política**

Políticamente se halla en:

País: Perú.

Departamento: Cajamarca.

Provincia: San Miguel.

Distrito: El Prado.

Centro Poblado: Quinden Bajo.

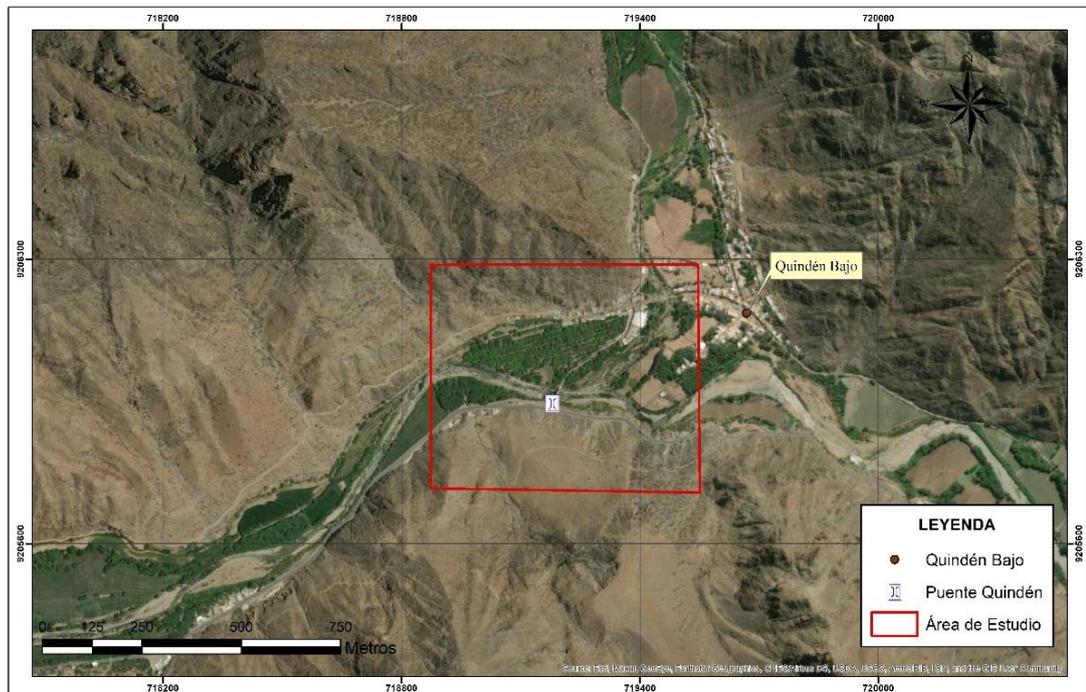


Figura 1. Plano de ubicación geográfica del área de estudio. Fuente: Propia (2022).

### 3.1.3. Accesibilidad

Tabla 1

Acceso al área de investigación

RUTA	TIPO DE VÍA	DISTANCIA	TIEMPO
Lima –Quinden Bajo	Asfaltada	797 Km.	13h
Cajamarca – Quindén Bajo (PE-08)	Asfaltada	109 Km.	2h 20min
Cajamarca – Quindén Bajo (PE-08A)	Asfaltada	119 Km.	2h 35min

Nota. Distancia y tiempo para llegar al área de estudio. El acrónimo “Km” se refiere a kilómetros, “h” horas y “min” minutos. Fuente: Propia (2022).

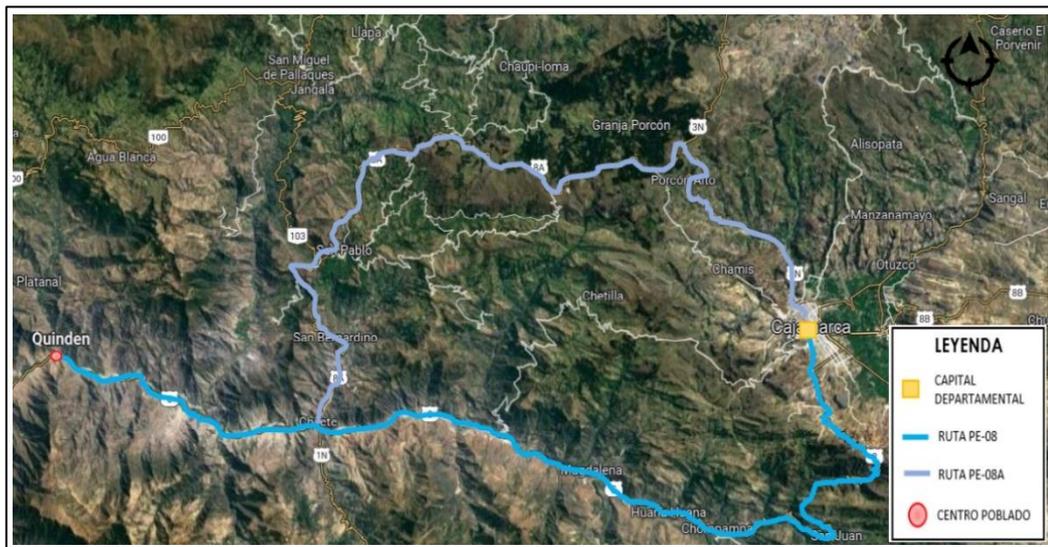


Figura 2. Plano de Accesibilidad al área de estudio. Fuente: Google Earth (2022).

### 3.1.4. Clima y vegetación

El centro poblado de Quindén Bajo está ubicado en la región natural “Yunga”, cuenta con un clima cálido y soleado casi todo el año, la temperatura suele oscilar entre 20°C y 23°C, con una altitud de 600 a 700 msnm. La mayor precipitación se observa durante los meses de verano de enero a abril, con precipitaciones que varían entre 140 y 430 mm promedio multianual (Vílchez et al., 2007). En cuanto a la vegetación, esta es una zona agrícola, se produce arroz y árboles frutales como mango, palta, ciruela, limón, etc. Además, podrás encontrar matorrales y gramíneas como molle, pencas, carrizo, pájaro bobo, caña braza, etc. Por último, se desarrollan especies xerofíticas como cactáceas columnares, achupallas, maguey, flor de overo, hualtaco, entre otros.

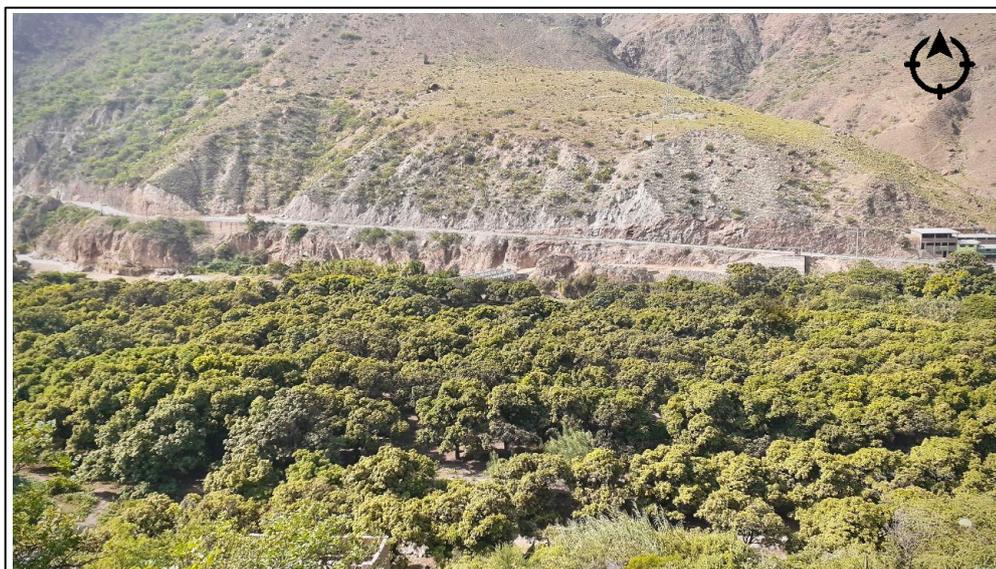


Figura 3. Vegetación del área de estudio. Vista de la foto Sur-Oeste. Fuente: Propia (2022).

### 3.2. Geología Regional

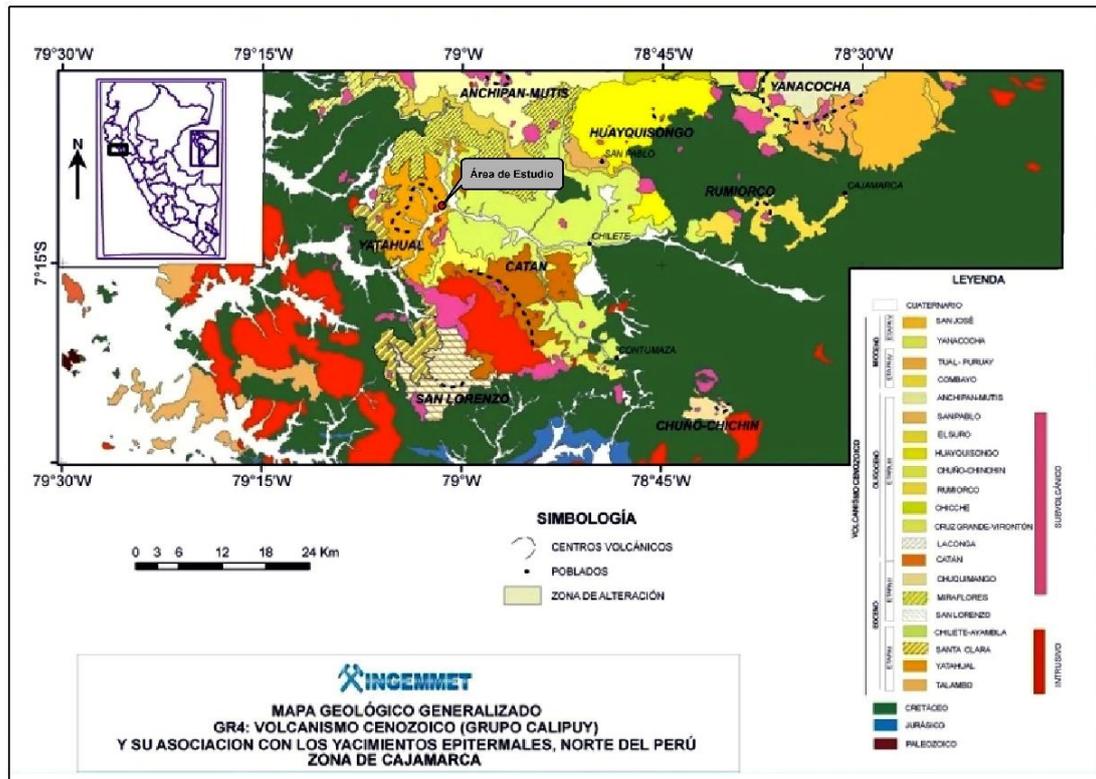


Figura 4. Centros Eruptivos del Grupo Calipuy.

Fuente: Centros Volcánicos Oligo-Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca (Navarro, Monge & Flores, 2008).

#### 3.2.1. Estratigrafía del Área de estudio

En el área de estudio se observó rocas volcánicas del Grupo Calipuy y algunos depósitos cuaternarios.

#### Grupo Calipuy

Son rocas volcánicas y volcanoclásticas emplazados durante el Eoceno Inferior al Mioceno Superior, sobreyacen con discordancia angular a las formaciones del Cretáceo Inferior y Superior, pertenecientes al vulcanismo Cenozoico de la Cordillera Occidental del norte del Perú, no obstante, la región de Cajamarca presenta mayor extensión de vulcanismo Cenozoico, en comparación con las regiones de La Libertad y Ancash (Cossio, 1964; Navarro, Monge & Flores, 2008).

### **Volcánico Yatahual (Pe-ya)**

Son rocas volcánicas depositadas durante el Eoceno Inferior, constituidas por secuencias gruesas de flujos de lava andesítica, de textura afanítica a porfirítica, con cristales de plagioclasa, cuarzo, piroxeno y anfíbol, intercaladas con flujos de cenizas andesíticas con fragmentos líticos. Forma un espesor de 1000 m. La base del flujo lávico se dató por el método K-Ar en  $38.15 \pm 1.3$  Ma. y la parte apical por Ar-Ar en  $33.3 \pm 0.8$  Ma. (Navarro, et al., 2008; Navarro, 2013).



*Figura 5.* Volcánico Yatahual pseudoestratificado.  
Coordenadas E: 779123 N: 9206206. Vista de la foto al Norte.  
*Fuente:* Propia (2022).

### **Secuencia Chilete-Ayambla (Pe-ch/1)**

Son rocas volcánicas depositadas durante el Eoceno Inferior, datados en  $54.8 \pm 1.8$  Ma, con un espesor promedio de 500 m, equivalente a los volcánicos Llama (Navarro & Monge, 2008). Se puede dividir en dos eventos; el primer evento eruptivo consiste en flujos de lava, pómez y cenizas andesíticas intercalados con depósitos volcanoclásticas, y el segundo, en flujos de ceniza intercalados con

lahares, oleadas piroclásticas, flujos de bloques y cenizas; y flujos de pómez y cenizas riolíticas. (Villacorta, 2007).



*Figura 6.* Discordancia angular entre las formaciones de la Formación Pariatambo (1), cubiertas por depósitos de la Secuencia Chilete-Ayambla (2).

*Fuente:* Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental del Norte del Perú: Segmento Cajamarca (Navarro & Monge, 2008).

#### **3.2.1.4. Depósitos Cuaternarios**

##### **Depósitos Coluviales (Qh-co)**

Son depósitos de origen local, resultado de la alteración y desintegración in situ de la roca, y su posterior transporte por acción de la gravedad, del hielo o deshielo y del agua; depositados como derrubios de ladera o depósitos de solifluxión. Generalmente asociados a masas inestables, que consiste en fragmentos angulares, heterogéneos, de tamaño grueso, envueltos por una matriz limo arcillosa. (González et al.,2002).



*Figura 7. Deposito Coluvial 01. Fuente: Propia (2022).*

Vista de la foto al Sur con Coordenadas E: 718980 N: 9205925, presenta una coloración gris, con fragmentos angulares, con una matriz de composición variable con arenas, gravas y arcillas.



*Figura 8. Deposito Coluvial 02. Fuente: Propia (2022).*

Vista de la foto al Noreste con Coordenadas E: 719136 N: 9206138, presenta una coloración marrón parduzco, con fragmentos angulares, con una matriz de composición variable con arenas, gravas, limos y arcillas.

### **Depósitos aluviales (Qh-al) y fluviales (Qh-fl)**

Son depósitos formados por la acumulación de sedimentos y fragmentos de roca, transportados principalmente por las corrientes de agua y la acción de la gravedad, y depositados en los márgenes de los ríos. Se compone por gravas, cantos, arenas sueltas, depósitos limoarcillosos. (Cruzado, 2009; Hernández, 2016).



Figura 9. Depósitos aluviales y fluviales en los márgenes del río Jequetepeque. Fuente: Propia (2022). Vista de la foto al Noreste.

### 3.2.2. Descripción macroscópica de muestras

En la zona de estudio se obtuvo muestras para su descripción macroscópica, se identificó que las rocas que afloran son volcánicas andesitas de composición intermedia.

#### Muestra 01

Roca Andesita de textura porfirítica, de color gris oscuro, con presencia de cristales de plagioclasas, microcristales de hornblenda y cuarzo. Presencia de dióxido de manganeso, xenolitos de color verde oscuro de aproximado 2 cm.



Figura 10. Muestra 01. Fuente: Propia (2022).  
Coordenadas E: 779123 N: 9206206.

### Muestra 02

Roca Andesita de color marrón violáceo, de textura porfirítica, presencia de cristales de plagioclasa, cristales y microcristales de hornblendas y biotitas, con xenolitos de coloración verdosa de aproximado 1.5 cm.



Figura 11. Muestra 02. Fuente: Propia (2022).  
Coordenadas E: 779123 N: 9206206.

### Muestra 03

Roca andesita de color gris verdoso, de textura afanítica de grano fino, con presencia de cristales de plagioclasas, cuarzo, microcristales de hornblendas, alteración propilítica por la presencia de clorita, epidota y venillas calcita con pirita.



Figura 12. Muestra 03. Fuente: Propia (2022).  
Coordenadas E: 719165 N: 9205938

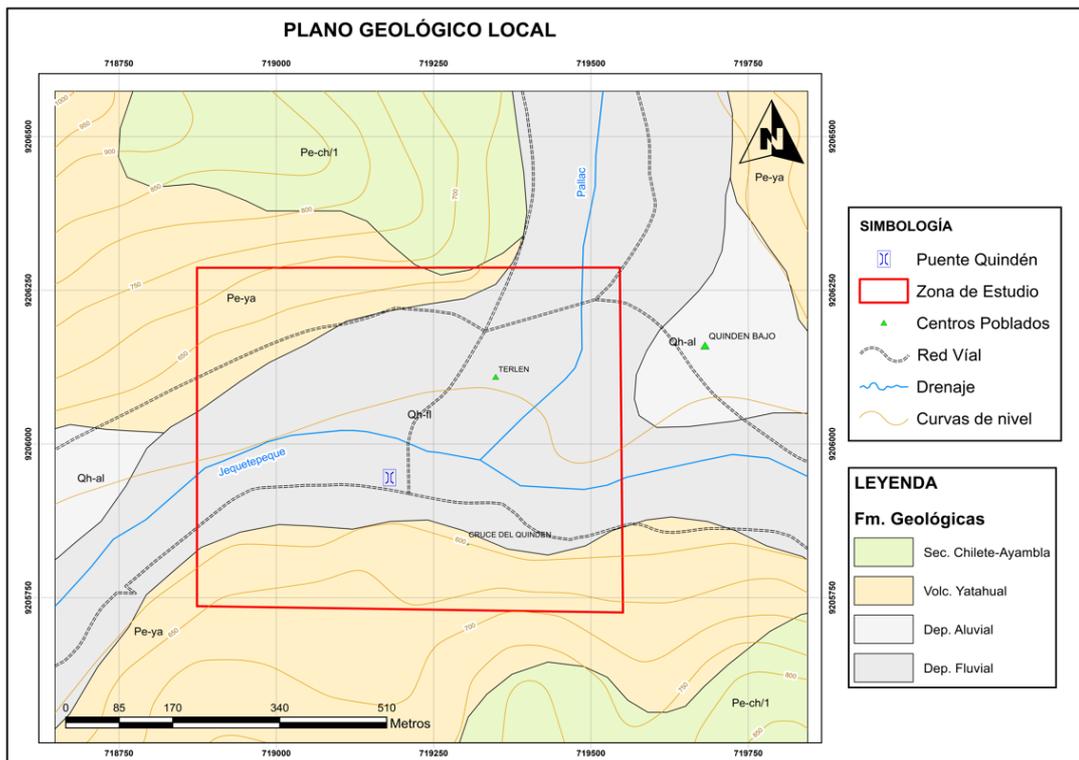


Figura 13. Plano Geológico del área de estudio. Fuente: Propia (2022).

### 3.3. Geología Estructural

En el área de estudio no se encontraron rasgos estructurales relacionados a procesos tectónicos que sean importantes como fallas o pliegues; sin embargo, se evidenció rocas andesitas seudoestratificadas y diaclasadas, con un Dip 63 y Dip Direction 71. Según (ISRM, 1978) es una roca dura de grado 4, sin relleno, ligeramente meteorizado y seca sin evidencia de flujo de agua.



Figura 14. Rocas Andesitas seudoestratificadas. Coordenadas E: 779123 N: 9206206. Vista de la foto al Norte. Fuente: Propia (2022).

### 3.4. Geomorfología

En el área de estudio presenta geoformas ligadas a procesos gravitacionales, tectónicos, deposicionales y erosivos.

#### **Valle en V**

Esta depresión se encuentra modelado por el río Jequetepeque y sus afluentes. Se han identificado unidades morfogenéticas como planicies y laderas.

#### **Planicies**

Se caracterizan por ser superficialmente uniformes, poco variables, algo onduladas, con poca erosión actual y son manejables para actividades agrícolas y ganaderas. Están definidos por depósitos aluviales y fluvio-aluviales con pendientes que van de  $0^\circ$  a  $8^\circ$  (Paredes, 2019).

#### **Laderas**

Conformado por montañas con pendientes que van desde los  $20^\circ$  a  $50^\circ$  (Paredes, 2019). En los márgenes derecho e izquierdo del río Jequetepeque y de sus efluentes, se identifican laderas de con pendientes medias.



*Figura 15.* Geomorfología del área de estudio. Vista de la foto al Noroeste.  
*Fuente:* Propia (2022).

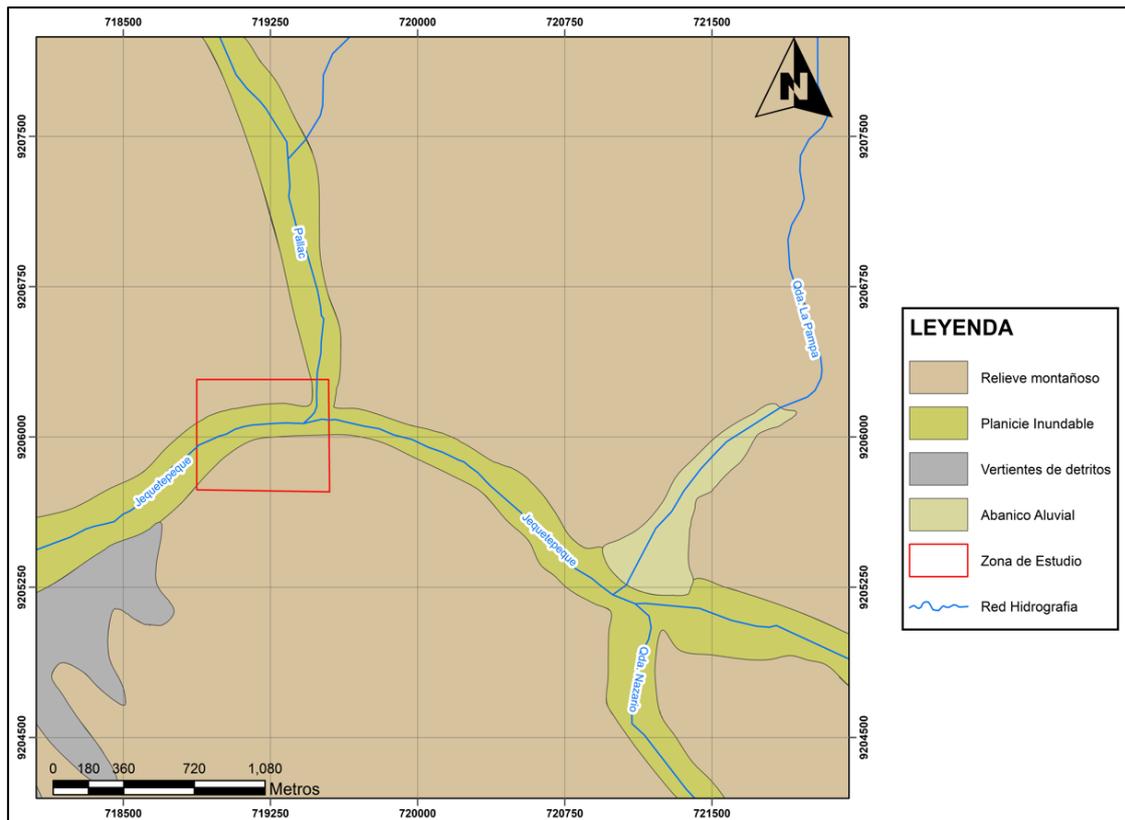


Figura 16. Plano Geomorfología del área de estudio. Fuente: Propia (2022).

### 3.5. Caracterización Geomecánica

Se efectuó la caracterización geomecánica del área de estudio para obtener las características y propiedades del macizo rocoso, con ayuda de las clasificaciones geomecánicas estudiadas como es Rock Mass Rating (RMR89) de Bieniawski, Índice de calidad de la roca (RQD) de Deere y el Índice de Resistencia Geológica (GSI) de Hoek & Marinos. Además, la toma de datos en campo se realizó por estaciones, de manera que se ha considerado 03 estaciones geomecánicas.

#### 3.5.1. RMR (Rock Mass Rating) – Bieniawski 89

##### 3.5.1.1. Estación Geomecánica 01 - Ubicación en coordenadas UTM

###### Tabla 2

Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 01.

Norte	Este	Cota
9205940	719147	610

Nota. Fuente: Propia (2022).



Figura 17. Delimitación de la estación geomecánica 01. Fuente: Propia (2022).

Vista de la foto al Sur.

### 3.5.1.1.2. PRIMER PARÁMETRO: Resistencia de la roca intacta

Se empleó el Martillo de Schmidt para obtener la resistencia, en la estación geomecánica 01 la resistencia es de 37 Mpa, que es una roca dura. Se consiguió una valoración de 7. (Ver Anexo N°6)

**Tabla 3**

Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 01

ENSAYOS	GOLPES DE REBOTE
N° 1	23
N° 2	32
N° 3	26
N° 4	28
N° 5	31
N° 6	30
N° 7	27

N° 8	26
N° 9	24
N° 10	30
<b>PROMEDIO</b>	<b>26</b>

Nota. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 4**

*Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 01.*

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	Compresión Simple (Mpa)							
		>250	100- 250	50-100	25-50	5- 25	1-5	<1
<b>VALOR</b>		15	12	7	4	2	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 18. Toma de Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 01. Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.1.3. SEGUNDO PARÁMETRO: Grado de Fracturación (RQD)

Se calculó este parámetro por medio de la fórmula propuesta por Priest y Hudson (1979), donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal.

ECUACIÓN 01: *RQD mediante Priest y Hudson (1979)*

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

En la estación geomecánica 01, se determinó 10 fisuras por metro lineal. En donde:

$$RQD = 100 e^{-0.1 \cdot 10} * ((0.1 * 10) + 1)$$

$$RQD = 73\%$$

Por ende, la primera estación geomecánica tiene un valor de 73%, que es un macizo rocoso de calidad Regular, se obtuvo una valoración de 13.

**Tabla 5**

*RQD, estación geomecánica 01.*

RQD (%)	< 25	25 – 50	50 – 75	75 – 90	90 – 100
CALIDAD	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Excelente
VALOR	3	6	13	17	20

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 19. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 01. Fuente: Propia (2022).*

#### 3.5.1.1.4. TERCER PARÁMETRO: Espaciamiento de discontinuidades

La estación geomecánica 01 presenta un espaciado promedio de 27 cm, con una valoración de 10.

**Tabla 6**

*Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 01.*

ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	>2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	<6 cm
VALOR	20	15	10	8	5

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 20. Midiendo el espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 01.  
Fuente: Propia (2022).*

### 3.5.1.1.5. CUARTO PARÁMETRO: Estado de las Discontinuidades

#### 3.5.1.1.5.1. Persistencia

La estación geomecánica 01 presenta una persistencia promedio de 4.0 m, se obtuvo una valoración de 2.

**Tabla 7**

*Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 01.*

LONGITUD DE DISCONTINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m

<b>VALOR</b>	6	4	2	1	0
--------------	---	---	---	---	---

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 21. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 01.  
Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.1.5.2. Abertura

La estación geomecánica 01 presenta una abertura promedio de 0.98 mm, se obtuvo una valoración de 1.

**Tabla 8**

*Abertura, estación geomecánica 01.*

<b>ABERTURA</b>	Cerrada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
<b>VALOR</b>	6	5	4	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 22. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 01.  
Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.1.5.3. Rugosidad

En la estación geomecánica 01, la condición es rugosa, se obtuvo una valoración de 5.

**Tabla 9**

*Rugosidad, estación geomecánica 01.*

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 23. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 01. Fuente: Propia (2022).

	PERFILES DE RUGOSIDAD	JRC
1		0 - 2
2		2 - 4
3		4 - 6
4		6 - 8
5		8 - 10
6		10 - 12
7		12 - 14
8		14 - 16
9		16 - 18
10		18 - 20

0                      5                      10                      cm

#### 3.5.1.1.5.4. Relleno

La estación geomecánica 01, se presenta en las juntas un relleno duro, y miden más de 5mm, se obtuvo una valoración de 2.

**Tabla 10**

*Relleno, estación geomecánica 01.*

RELLENO	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
VALOR	6	4	2	2	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 24. Analizando el relleno, estación geomecánica 01. Fuente: Propia (2022).*

#### 3.5.1.1.5.5. Alteración

La estación geomecánica 01, presenta un macizo moderadamente alterado, se obtuvo una valoración de 3.

**Tabla 11**

*Alteración, estación geomecánica 01.*

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
------------	------------	-------------------------	---------------------------	-----------------	--------------

<b>VALOR</b>	6	5	3	1	0
--------------	---	---	---	---	---

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Muestra de andesita de coloración amarillenta producida por la meteorización química con presencia de óxidos.

Figura 25. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 01.

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.1.6. Resumen del estado de las discontinuidades

**Tabla 12**

*Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 01.*

Propiedad	Rango cuantitativo	Unidad	Descripción	Valoración
Persistencia	3 – 10	m	---	2
Abertura	0.1 – 1	mm	---	4
Rugosidad	---	---	Rugosa	5
Relleno	>5	mm	Relleno Duro	2
Alteración	---	---	Moderadamente alterada	3
<b>Suma total</b>				<b>16</b>

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “Resumen de propiedades de discontinuidades” por Cipriano, C. & Marín, E., 2018. *Propuesta de sostenimiento*

en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv.9, Unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018, p. 78. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.

### 3.5.1.1.7. QUINTO PARÁMETRO: Presencia de Agua Subterránea

En la estación geomecánica 01, las juntas se encuentran ligeramente húmedas, se obtuvo una valoración de 10.

**Tabla 13**

Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 01.

Presencia de agua en las juntas	Relación Presión de agua /Tensión principal máxima	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
	Estado General	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
VALOR	15	10	7	4	0	

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

### 3.5.1.1.8. Suma de los parámetros de Clasificación Geomecánica RMR.

#### Estación Geomecánica 01

ECUACIÓN 02: Cálculo de RMR

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

$$RMR = 4 + 13 + 10 + 16 + 10$$

$$RMR \text{ BÁSICO} = 56$$

**Tabla 14**

Clasificación RMR, estación geomecánica 01.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de fricción	Tiempo de Mantenimiento
I	Muy buena	100 – 81	> 400 Kpa	> 45°	20 años para 15 metros
II	Buena	80 – 61	300 - 400 Kpa	35° – 45°	1 año para 10 metros
III	Media	60 – 41	200 - 300 Kpa	25° – 35°	1 semana para 5 metros

IV	Mala	40 – 21	100 - 200 Kpa	15° – 25°	10 horas para 2.5 metros
V	Muy Mala	< 20	< 100 Kpa	< 15°– 25°	30 minutos para 1 metro

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 55. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

En la **estación geomecánica 01**, la puntuación del **RMR BÁSICO** es de **56**, macizo rocoso de clase III de **calidad Media**.

### 3.5.1.2. Estación Geomecánica 02 - Ubicación en coordenadas UTM

#### Tabla 15

Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 02.

Norte	Este	Cota
9205940	719158	610

Nota. Fuente: Propia (2022).



Figura 26. Delimitación de la estación geomecánica 02.  
Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.1. PRIMER PARÁMETRO: Resistencia de la roca intacta

Se empleó el Martillo de Schmidt para obtener la resistencia, en la estación geomecánica 02 la resistencia es de 105 Mpa, que es una roca muy dura. Se consiguió una valoración de 12. (Ver Anexo 07)

**Tabla 16**

*Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 02*

ENSAYOS	GOLPES DE REBOTE
N° 1	58
N° 2	53
N° 3	57
N° 4	50
N° 5	56
N° 6	54
N° 7	55
N° 8	56
N° 9	57
N° 10	55
<b>PROMEDIO</b>	54

Nota. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 17**

*Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 02.*

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	Compresión Simple (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	25-5	5-1	<1
<b>VALOR</b>		15	12	7	4	2	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 27. Tomando la Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 02.*

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.2. SEGUNDO PARÁMETRO: Grado de Fracturación (RQD)

Se calculó este parámetro por medio de la fórmula propuesta por Priest y Hudson (1979), donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal.

ECUACIÓN 01: *RQD mediante Priest y Hudson (1979)*

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

En la estación geomecánica 02, se determinó 9 fisuras por metro lineal. En donde:

$$RQD = 100 e^{-0.1*9} * ((0.1 * 9) + 1)$$

$$RQD = 77\%$$

Por ende, la segunda estación geomecánica tiene un valor de 77%, que es un macizo rocoso de calidad Buena, se obtuvo una valoración de 17.

**Tabla 18**

*RQD, estación geomecánica 02.*

RQD (%)	< 25	25 – 50	50 – 75	75 – 90	90 – 100
CALIDAD	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Excelente
VALOR	3	6	13	17	20

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 28. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 02. Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.3. TERCER PARÁMETRO: Espaciamiento de discontinuidades

La estación geomecánica 02 presenta un espaciado promedio de 28 cm, con una valoración de 10.

**Tabla 19**

*Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 02.*

ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	>2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	<6 cm
VALOR	20	15	10	8	5

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 29. Midiendo la separación de las discontinuidades, estación geomecánica 02.

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.4. CUARTO PARÁMETRO: Estado de las Discontinuidades

#### 3.5.1.2.4.1. Persistencia

La estación geomecánica 02 presenta una persistencia promedio de 3.63 m, se obtuvo una valoración de 2.

**Tabla 20**

*Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 02.*

LONGITUD DE DISCONINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 30. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 02.  
Fuente: Propia (2022).

#### 3.5.1.2.4.2. Abertura

La estación geomecánica 02 presenta una abertura de 1mm, se obtuvo una valoración de 4.

**Tabla 21**

*Abertura, estación geomecánica 02.*

ABERTURA	Cerrada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	4	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 31. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 02.  
Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.4.3. Rugosidad

En la estación geomecánica 02, la condición es rugosa, se obtuvo una valoración de 5.

**Tabla 22**

*Rugosidad, estación geomecánica 02.*

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 32. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 02. Fuente: Propia (2022).

	PERFILES DE RUGOSIDAD	JRC
1		0 - 2
2		2 - 4
3		4 - 6
4		6 - 8
5		8 - 10
6		10 - 12
7		12 - 14
8		14 - 16
9		16 - 18
10		18 - 20

0 5 10 cm

#### 3.5.1.2.4.4. Relleno

La estación geomecánica 02, se presenta en las juntas un relleno duro, y miden menos de 5mm, se obtuvo una valoración de 4.

**Tabla 23**

*Relleno, estación geomecánica 02.*

RELLENO	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
VALOR	6	4	2	2	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 33. Analizando el relleno, estación geomecánica 02. Fuente: Propia (2022).*

#### 3.5.1.2.4.5. Alteración

La estación geomecánica 02, presenta un macizo ligeramente alterado, se obtuvo una valoración de 5.

**Tabla 24**

*Alteración, estación geomecánica 02.*

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for*

*Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

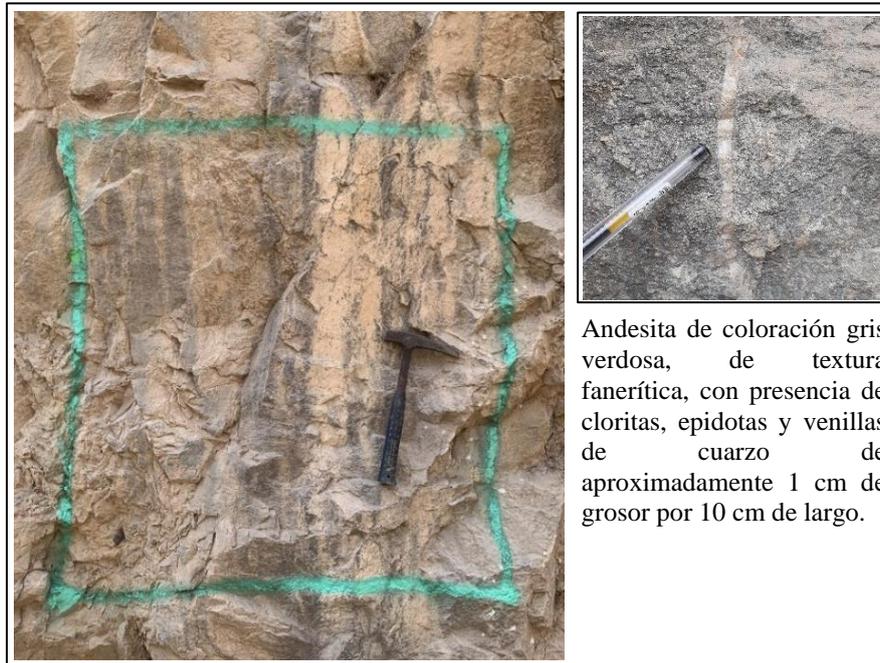


Figura 34. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 02.  
Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.2.5. Resumen del estado de las discontinuidades

**Tabla 25**

*Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 02.*

Propiedad	Rango cuantitativo	Unidad	Descripción	Valoración
Persistencia	3 – 10	m	---	2
Abertura	0.1 – 1	mm	---	4
Rugosidad	---	---	Rugosa	5
Relleno	<5	mm	Relleno Duro	4
Alteración	---	---	Ligeramente alterada	5
<b>Suma total</b>				<b>20</b>

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “Resumen de propiedades de discontinuidades” por Cipriano, C. & Marín, E., 2018. *Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv.9, Unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018*, p. 78. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.

### 3.5.1.2.6. QUINTO PARÁMETRO: Presencia de Agua Subterránea

En la estación geomecánica 02, las juntas se encuentran ligeramente húmedas, se obtuvo una valoración de 10.

**Tabla 26**

*Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 02.*

Presencia de agua en las juntas	Relación Presión de agua /Tensión principal máxima	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
	Estado General	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
VALOR	15	10	7	4	0	

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley

### 3.5.1.2.7. Suma de los parámetros de Clasificación Geomecánica RMR.

#### Estación Geomecánica 02

ECUACIÓN 02: *Cálculo de RMR*

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

$$RMR = 12 + 17 + 10 + 20 + 10$$

$$RMR \text{ BÁSICO} = 69$$

**Tabla 27**

*Clasificación RMR, estación geomecánica 02.*

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de fricción	Tiempo de Mantenimiento
I	Muy buena	100 – 81	> 400 Kpa	> 45°	20 años para 15 metros
II	Buena	80 – 61	300 - 400 Kpa	35° – 45°	1 año para 10 metros
III	Media	60 – 41	200 - 300 Kpa	25° – 35°	1 semana para 5 metros
IV	Mala	40 – 21	100 - 200 Kpa	15° – 25°	10 horas para 2.5 metros
V	Muy Mala	< 20	< 100 Kpa	< 15° – 25°	30 minutos para 1 metro

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 55. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

En la **estación geomecánica 02**, la puntuación del **RMR BÁSICO** es de **69**, macizo rocoso de clase II de **calidad Buena**.

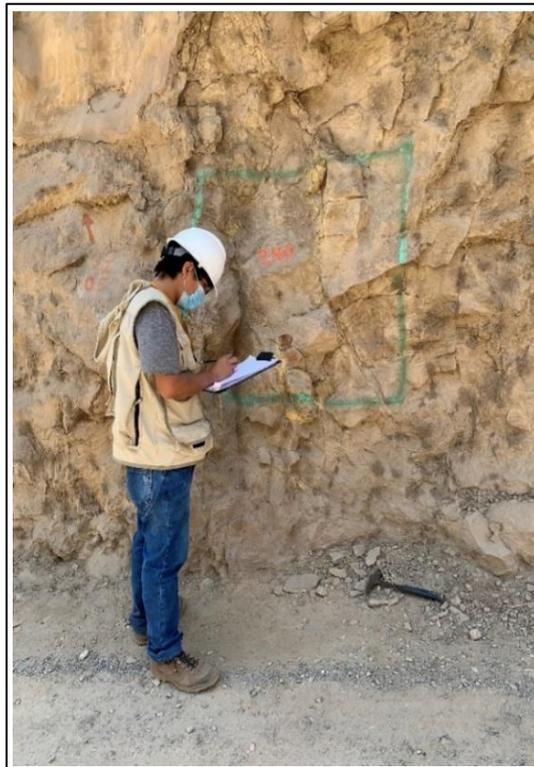
### 3.5.1.3. Estación Geomecánica 03 - Ubicación en coordenadas UTM

**Tabla 28**

*Coordenadas UTM (WGS 84), estación geomecánica 03.*

Norte	Este	Cota
9205938	719169	611

Nota. Fuente: Propia (2022).



*Figura 35. Delimitación de la estación geomecánica 03. Fuente: Propia (2022).*

### 3.5.1.3.1. PRIMER PARÁMETRO: Resistencia de la roca intacta

Se empleó el Martillo de Schmidt para obtener la resistencia, en la estación geomecánica 03 la resistencia es de 40 Mpa, que es una roca moderadamente dura. Se consiguió una valoración de 4. (Ver Anexo 08)

**Tabla 29**

*Resultados del ensayo con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 03.*

ENSAYOS	GOLPES DE REBOTE
N° 1	25
N° 2	31
N° 3	32
N° 4	22
N° 5	20
N° 6	24
N° 7	23
N° 8	25
N° 9	32
N° 10	23
<b>PROMEDIO</b>	29

Nota. Fuente: Propia (2022).

**Tabla 30**

*Resistencia de la Roca Intacta, estación geomecánica 03.*

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	Comprensión Simple (Mpa)							
		>250	100-250	50-100	25-50	25-5	5-1	<1
<b>VALOR</b>		15	12	7	4	2	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de "The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)" por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 36. Tomando la Resistencia con Martillo de Schmidt, estación geomecánica 03.

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.3.2. SEGUNDO PARÁMETRO: Grado de Fracturación (RQD)

Se calculó este parámetro por medio de la fórmula propuesta por Priest y Hudson (1979), donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal.

ECUACIÓN 01: *RQD mediante Priest y Hudson (1979)*

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

En la estación geomecánica 03, se determinó 11 fisuras por metro lineal. En donde:

$$RQD = 100 e^{-0.1*11} * ((0.1 * 11) + 1)$$

$$RQD = 70$$

Por ende, la segunda estación geomecánica tiene un valor de 70%, que es un macizo rocoso de calidad Buena, se obtuvo una valoración de 13.

**Tabla 31**

*RQD, estación geomecánica 03.*

RQD (%)	< 25	25 – 50	50 – 75	75 – 90	90 – 100
CALIDAD	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Excelente
VALOR	3	6	13	17	20

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 37. Conteo de las fracturas, estación geomecánica 03. Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.3.3. TERCER PARÁMETRO: Espaciamiento de discontinuidades

La estación geomecánica 03 presenta un espaciado promedio de 27 cm, con una valoración de 10.

**Tabla 32**

*Espaciado de las discontinuidades, estación geomecánica 03.*

ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES	>2 m	0.6 – 2 m	0.2 – 0.6 m	6 – 20 cm	<6 cm
VALOR	20	15	10	8	5

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 38. Midiendo la separación de las discontinuidades, estación geomecánica 03.

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.3.4. CUARTO PARÁMETRO: Estado de las Discontinuidades

#### 3.5.1.3.4.1. Persistencia

La estación geomecánica 03 presenta una persistencia promedio de 4 m, se obtuvo una valoración de 2.

**Tabla 33**

*Persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 03.*

LONGITUD DE DISCONINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

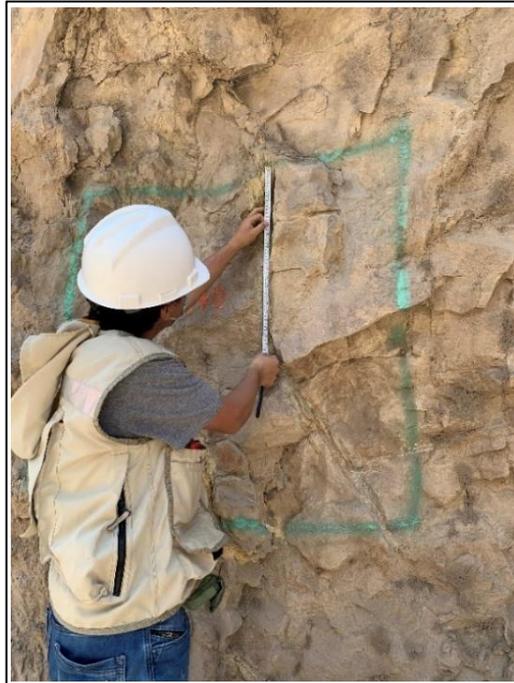


Figura 39. Midiendo la persistencia de las discontinuidades, estación geomecánica 03.

Fuente: Propia (2022).

#### 3.5.1.3.4.2. Abertura

La estación geomecánica 03 presenta una abertura promedio de 1.4 mm, se obtuvo una valoración de 4.

**Tabla 34**

*Abertura, estación geomecánica 03.*

ABERTURA	Cerrada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	4	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 40. Midiendo aberturas de las discontinuidades, estación geomecánica 03.

Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.3.4.3. Rugosidad

En la estación geomecánica 03, la condición es ligeramente rugosa, se obtuvo una valoración de 3.

**Tabla 35**

*Rugosidad, estación geomecánica 03.*

<b>RUGOSIDAD</b>	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
<b>VALOR</b>	6	5	3	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 41. Evaluando la rugosidad, estación geomecánica 03. Fuente: Propia (2022).

PERFILES DE RUGOSIDAD		JRC
1		0 - 2
2		2 - 4
3		4 - 6
4		6 - 8
5		8 - 10
6		10 - 12
7		12 - 14
8		14 - 16
9		16 - 18
10		18 - 20

0                      5                      10 cm

#### 3.5.1.3.4.4. Relleno

La estación geomecánica 03, se presenta en las juntas un relleno duro, y miden más de 5mm, se obtuvo una valoración de 2.

**Tabla 36**

*Relleno, estación geomecánica 03.*

RELLENO	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
VALOR	6	4	2	2	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de "The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)" por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Figura 42. Analizando el relleno, estación geomecánica 03. Fuente: Propia (2022).

### 3.5.1.3.4.5. Alteración

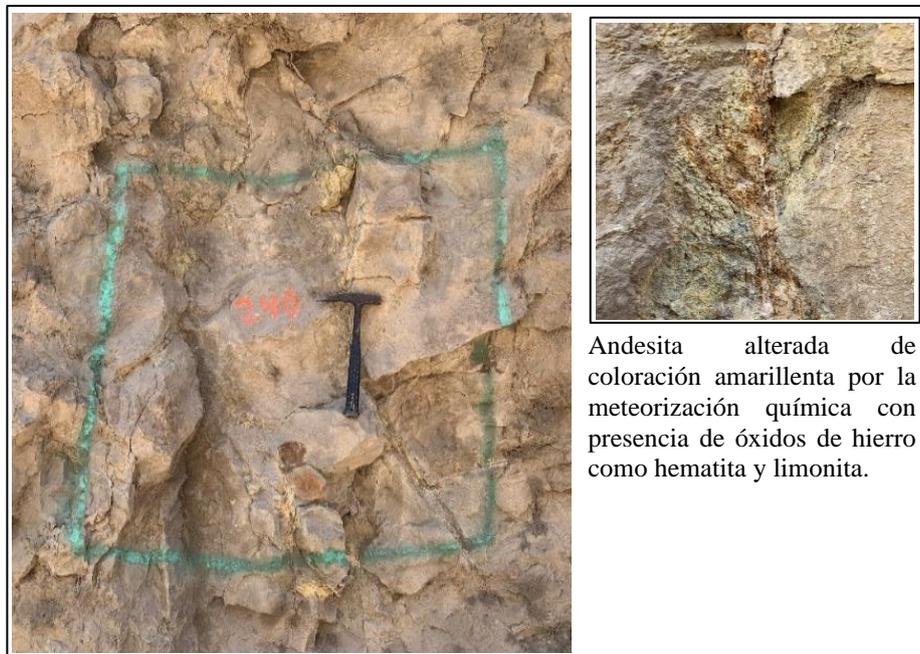
La estación geomecánica 03, presenta un macizo moderadamente alterado, se obtuvo una valoración de 3.

**Tabla 37**

*Alteración, estación geomecánica 03.*

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



*Figura 43. Reconociendo la alteración, estación geomecánica 02.*

*Fuente: Propia (2022).*

### 3.5.1.3.5. Resumen del estado de las discontinuidades

**Tabla 38**

*Resumen del estado de discontinuidades, estación geomecánica 03.*

Propiedad	Rango cuantitativo	Unidad	Descripción	Valoración
Persistencia	3 – 10	m	---	2
Abertura	1 – 5	mm	---	1
Rugosidad	---	---	Rugosa	5

Relleno	>5	mm	Relleno Duro	2
Alteración	---	---	Moderadamente alterada	3
<b>Suma total</b>				<b>13</b>

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “Resumen de propiedades de discontinuidades” por Cipriano, C. & Marín, E., 2018. *Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv.9, Unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018*, p. 78. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.

### 3.5.1.3.6. QUINTO PARÁMETRO: Presencia de Agua Subterránea

En la estación geomecánica 03, las juntas se encuentran ligeramente húmedas, se obtuvo una valoración de 10.

**Tabla 39**

*Flujo de agua en las juntas, estación geomecánica 03.*

Presencia de agua en las juntas	Relación Presión de agua /Tensión principal máxima	0	< 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
	Estado General	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
<b>VALOR</b>		15	10	7	4	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 54. Copyright 1989 por John Wiley

### 3.5.1.3.7. Suma de los parámetros de Clasificación Geomecánica RMR.

#### Estación Geomecánica 03

ECUACIÓN 02: *Cálculo de RMR*

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

$$RMR = 4 + 13 + 10 + 13 + 10$$

$$RMR \text{ BÁSICO} = 50$$

**Tabla 40**

*Clasificación RMR, estación geomecánica 03.*

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de fricción	Tiempo de Mantenimiento
I	Muy buena	100 – 81	> 400 Kpa	> 45°	20 años para 15 metros
II	Buena	80 – 61	300 - 400 Kpa	35° – 45°	1 año para 10 metros
III	Media	60 – 41	200 - 300 Kpa	25° – 35°	1 semana para 5 metros
IV	Mala	40 – 21	100 - 200 Kpa	15° – 25°	10 horas para 2.5 metros
V	Muy Mala	< 20	< 100 Kpa	< 15° – 25°	30 minutos para 1 metro

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, p. 55. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.

En la **estación geomecánicas 03**, la puntuación del **RMR BÁSICO** es de **50**, macizo rocoso de clase II de **calidad Media**.

### 3.6. Evaluación de GSI (Geological Strength Index) – Hoek &Marinos (2000)

#### 3.6.1. Estación Geomecánica 01



*Figura 44.* Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 01. Vista de foto Suroeste. *Fuente:* Propia (2022).

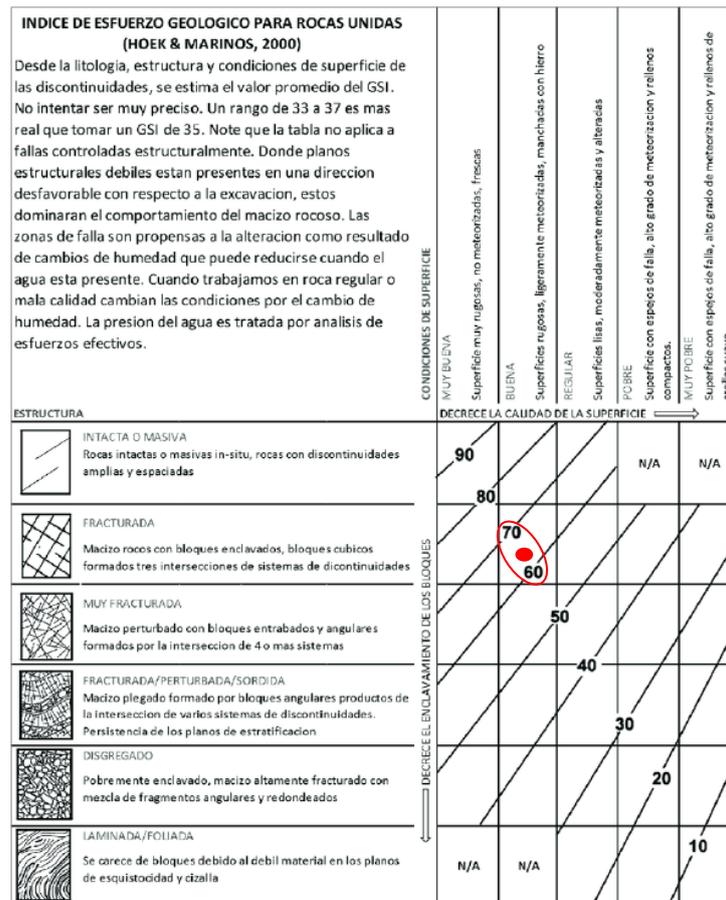


Figura 45. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 01.

Fuente: GSI: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation (Marinos y Hoek, 2000).

Con base en observaciones de campo, se identificó un macizo rocoso:

- **Estructura fracturada:** macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades.
- **Condición de superficie regular:** superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas.

Por ende, se estimó un GSI de 64.

### 3.6.2. Estación Geomecánica 02



Figura 46. Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 02. Vista de foto Suroeste. Fuente: Propia (2022).

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000)		CONDICIONES DE SUPERFICIE	
Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		MUY BUENA Superficie muy rugosa, no meteorizadas, frescas	MUY BUENA Superficie muy rugosa, no meteorizadas, frescas
		BUENA Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	BUENA Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro
		REGULAR Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alienadas	REGULAR Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alienadas
		POBRE Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.	POBRE Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos compactos.
		MUY POBRE Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.	MUY POBRE Superficie con espacios de falla, alto grado de meteorizacion y rellenos de arcillas suaves.
ESTRUCTURA	DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE		
 <b>INTACTA O MASIVA</b> Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90	N/A	N/A
 <b>FRACTURADA</b> Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades	80 70	60	
 <b>MUY FRACTURADA</b> Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas	50	40	
 <b>FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA</b> Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion	30	20	
 <b>DISGREGADO</b> Pobre mente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados	10		
 <b>LAMINADA/FOLIADA</b> Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistosidad y cizalla	N/A	N/A	
	DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES		

Figura 47. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 02.

Fuente: GSI: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation (Marinos y Hoek, 2000).

Con base en observaciones de campo, se identificó un macizo rocoso:

- **Estructura fracturada:** macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades.
- **Condición de superficie Buena:** superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro.

Por ende, se estimó un GSI de 73.

### 3.6.3. Estación Geomecánica 03



*Figura 48.* Observando el Macizo rocoso, estación geomecánica 03. Vista de foto al Sur.  
*Fuente:* Propia (2022).

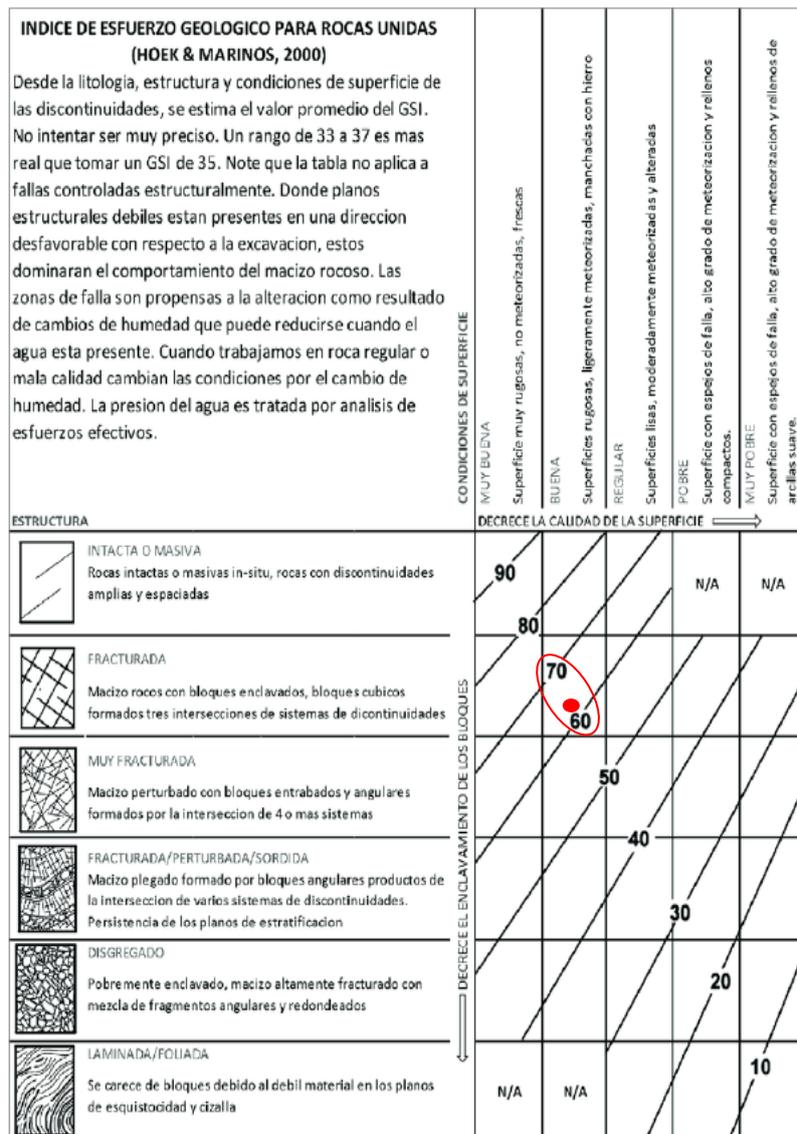


Figura 49. Índice de Resistencia Geológica para macizos rocosos fracturados – EG 01.

Fuente: GSI: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation (Marinos y Hoek, 2000).

Con base en observaciones de campo, se identificó un macizo rocoso:

- **Estructura fracturada:** macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cúbicos formados tres intersecciones de sistemas de discontinuidades.
- **Condición de superficie regular:** superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas.

Por ende, se estimó un GSI de 61.

### 3.7. Resumen de Resultados de clasificaciones geomecánicas

**Tabla 41**

*Resumen de resultados de las Clasificaciones Geomecánicas.*

EG	RQD	CALIDAD DE LA ROCA	RMR	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	GSI	CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO
1	73%	Regular	56	Media	64	Buena
2	77%	Regular	69	Buena	73	Buena
3	70%	Regular	50	Media	61	Buena

Nota. Fuente: Propia (2022).

### 3.8. Caracterización geotécnica de suelos

En campo se han excavado 02 calicatas (C-1 y C-2). Asimismo, con base en el análisis visual-manual de acuerdo con la norma ASTM D-2488, se determinó que en la calicata (C-1) se halló arenas arcillosas de color marrón claro, húmedas con partículas subredondeadas a sub angulosas de compacidad semicompacta (SC), en la calicata (C-2) se identificó gravas limosas mal graduada, húmedas, de color marrón claro, con partículas sub angulares a sub redondeadas de compacidad semicompacta (GP-GM), no se identificó niveles freáticos durante los trabajos de exploración (calicatas).

En laboratorio y campo, se analizó el material de cimentación a partir de -0.10 desde la superficie del terreno, según los ensayos estándar y especiales, se exhibe un suelo con las siguientes características:

**Tabla 42**

*Resumen de las características geotécnicas del suelo.*

<b>Humedad</b>	18.20%
<b>Densidad Unitaria</b>	1.987 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad relativa</b>	65%
<b>Asentamiento</b>	1.499 mm
<b>Angulo de fricción interna</b>	25°
<b>Cohesión</b>	0.00 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Poisson (u)</b>	0.30
<b>Módulo de Elasticidad (E)</b>	180 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Corte (G)</b>	69 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de Balasto</b>	1.10 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Nivel freático</b>	No se evidenció

Fuente: (Propia, 2022).

Por otro lado, se tomaron 02 muestras de suelo para analizar el contenido de sulfatos, donde se obtuvo valores por debajo de los límites permisibles, por ello se recomienda utilizar el cemento tipo I.

**Tabla 43**  
*Contenido de Sulfatos*

<b>Muestra</b>	<b>Sólidos suspendidos totales (%)</b>
C-1	0.098
M-1 (0.10 – 2.50 m)	
C-2	0.087
M-1 (0.10 – 2.80 m)	

Fuente: (Propia, 2022).

Asimismo, se determinó una capacidad admisible de los suelos presentes, para cimentaciones cuadradas, como se observa a continuación:

**Tabla 44**  
*Capacidad admisible de los suelos*

<b>Tipo de cimentación</b>	<b>B (m)</b>	<b>Df (m)</b>	<b>Qa (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Cuadrada	2.00	2.50	1.65

Fuente: (Propia, 2022).

Se analizó la roca presente en el margen izquierdo y se estableció una capacidad admisible de 2.50 Kg/cm<sup>2</sup> o 25 ton/m<sup>2</sup>.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En esta investigación, al determinar las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo, se identificó que, en el margen izquierdo aflora rocas volcánicas de tipo Andesita, la estación geomecánica 01 se exhibe un RQD = 73% roca de calidad Regular, un macizo rocoso de calidad Media (III), representada por un RMR = 56, y un GSI = 64 de calidad Buena, la estación geomecánica 02 se exhibe un RQD = 77% roca de calidad Regular, un macizo de calidad Buena (II), representada por un RMR = 69 y un GSI = 73 calidad Buena, y la estación geomecánica 03 se exhibe un RQD = 70% roca de calidad Regular, un macizo de calidad Media (III), representada por un RMR = 50 y un GSI = 61 calidad Buena. Asimismo, en el margen derecho se muestra un suelo variado compuesto por arenas arcillosas (SC) y gravas limosas (GP-GM) con una carga admisible de 1.65 Kg/cm<sup>2</sup>, y la roca se identificó una carga admisible de 2.50 Kg/cm<sup>2</sup>. En tal sentido, bajo lo referido anteriormente y al analizar los resultados, se acepta la hipótesis de la investigación, donde el material de cimentación es el adecuado para los estribos del puente Quindén Bajo, puesto que se garantiza la seguridad, durabilidad y estabilidad para el puente Quindén Bajo. De acuerdo a los antecedentes encontrados, se realizó el estudio geotécnico de los suelos y materiales presentes en el área donde se plantea el proyecto, a través de ensayos tanto en campo como laboratorio, se excavaron 02 calicatas, se tomó muestras de suelo para su respectivo análisis en laboratorio y se caracterizó el macizo rocoso por medio de las clasificaciones geomecánicas, este proceso se sustenta por (MTC, 2016) y (MTI, 2008), ya que estos manuales brindan las normas, criterios y estudios mínimos que se emplean durante el desarrollo de cualquier proyecto de construcción civil para asegurar un adecuado planteamiento, análisis y diseño; en la presente tesis se utilizó el procedimiento para puentes.

Asimismo, lo hicieron Bendezu et al. (2013) en su estudio “Construcción del puente carrozable de interconexión Rumichaca – Yanamilla”, ya que concuerdan con la presente investigación, porque siguieron el mismo procedimiento para evaluar las características geomecánicas y geotécnicas del material de

cimentación. A partir de ensayos de campo y pruebas de suelos en laboratorio, se definió que el área de estudio, la margen derecha está compuesto por arena y grava con escasos finos, y la margen izquierda aflora una roca volcánica (toba), la cual se evaluó y se obtuvo que, el RQD y RMR corresponde a un macizo rocoso de mala calidad. Se induce que, la roca volcánica se emplea como material de cimentación por poseer una capacidad portante de  $12.14 \text{ Kg/cm}^2$ , y un factor de seguridad a largo plazo, con una cota de desplante de cimentación de 1.50 m en promedio, mientras que, en la presente tesis se muestra un macizo rocoso de calidad Media a Buena, según RQD, RMR y GSI. En la margen derecha, para el suelo se obtuvo una carga admisible de  $1.65 \text{ Kg/cm}^2$ , y para la margen izquierda, para la roca se identificó una carga admisible de  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ , por tanto también se recomienda como material de cimentación la roca, con una profundidad de cimentación de 2.50 m.

Por otro lado, se caracterizó geomecánicamente la masa rocosa que aflora en el margen izquierdo del puente Quindén Bajo por medio de las clasificaciones RQD, RMR y GSI, como lo hizo Quintana (2019), pero en su estudio se obtuvo que, en la margen izquierda, la gabrodiorita y la tonalita tienen un RMR promedio de 65; en la margen derecha la gabrodiorita, la tonalita y el tufo presentan un RMR promedio de 64. Se puede observar que, al igual que en la margen izquierda y derecha, presenta un macizo rocoso de clase II (Roca Buena). El RQD tomado en las estaciones se encuentra mayormente entre 70 y 90 (Roca Buena). Se determinó un GSI, en la margen izquierda un promedio de 65, y la margen derecha un promedio de 68, por lo que es un macizo de calidad Buena. Además, muestra la correlación entre la valoración RMR y GSI, la roca volcánica se precisa una carga admisible que oscila de 1,4 Mpa a 3,0 Mpa entre los 5 y 10 m de profundidad, y aumenta de 10,3 a 14,0 Mpa a los 15 m de profundidad, y para la roca volcánica se estima una capacidad de carga admisible de 1,1 MPa entre 5 y 10 m de profundidad, en consecuencia, el material existente presenta condiciones favorables para la cimentación, mientras tanto en la presente tesis se exhibe un macizo rocoso de calidad Media a Buena, según RQD, RMR y GSI, y se valora con una carga admisible de  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$ , y se difiere que, el material de cimentación presenta propiedades adecuadas para la cimentación.

Del mismo modo se logró determinar las propiedades de los suelos como lo hizo Culqui (2013) en su tesis "Estudio del puente San Juan", se identificó que en ambos márgenes derecha e izquierda, según SUCS y AASHTO se presenta suelos CL (A7-6) y GW-GM (A1-a), se empleó como material de cimentación el suelo tipo grava bien gradada con limo (GW-GM), porque presenta una carga admisible de 2.00 Kg/cm<sup>2</sup>, con una profundidad de cimentación de 300 cm, en el caso de la presente tesis, se determinó suelos variados compuestos por arenas arcillosas (SC) y gravas limosas (GP-GM) con una carga admisible de 1.65 Kg/cm<sup>2</sup>, pero se estableció como material de cimentación la roca, ya que presenta una carga admisible mayor de 2.50 Kg/cm<sup>2</sup>, con una profundidad de cimentación de 2.50 m.

Además, se logró evaluar el macizo rocoso presente en el área de estudio, en primer lugar, se sectorizó según las características estructurales, litología, coloración, etc. Luego, se determinó la calidad de la masa rocosa para fines geotécnicos por medio de las clasificaciones geomecánicas, está relacionada con lo que Gómez (2018) sostiene, en su trabajo "Caracterización geomecánica preliminar de la formación Naranco", en primera instancia se zonificó en 13 estaciones geomecánicas, luego se evaluó la masa rocosa, se determinó que presenta un RQD de calidad "aceptable", GSI, RMR y Q, da como resultados macizos rocosos de calidad mala a media, en cambio en la presente investigación se sectorizó la masa rocosa en 03 estaciones geomecánicas, y se exhibe un macizo rocoso de calidad Media a Buena, según RQD, RMR y GSI, pero en este estudio no se empleó la clasificación geomecánica Q de Barton.

Igualmente, las propiedades de los suelos se determinan mediante ensayos de campo (calicatas) y ensayos de laboratorio, así como Romero (2004) en su tesis "Geología y Geotécnica con fines de construcción de puentes - análisis del puente internacional Agua Verdes-Tumbes", la obra proyecta se emplaza en una zona llana, se identifica inundaciones, por ello se recomienda elevar la rasante en 1.20 m. Según perforaciones rotatorias (ensayo SPT) y ensayos de laboratorio, se distingue suelos SM, SC de 52 Tn de carga admisible y SC, ML de 114 Tn, margen izquierdo; GC de 105 Tn de carga admisible, margen derecho. Se emplea los suelos arena limosas y arcillas como material de cimentación debido a sus buenas

propiedades mecánicas, pero en la presente investigación se obtuvo suelos SC y GP-GM; se presenta un terreno de superficie plana, sin embargo los suelos no presentan buenas características geotécnicas, por lo que se empleó como material de cimentación la roca, y no se identificó inundaciones.

Durante el desarrollo de la presente tesis se tuvo algunas limitaciones, falta de equipos como brújula, GPS, martillo de Schmidt y peine de Barton, para efectuar las evaluaciones del macizo rocoso en campo, la recopilación de datos fue limitada y retrasada debido a los vehículos pesados y menores que a cada momento transitaban, se tuvo escasa información de la zona estudiada y se generó un aumento de presupuesto, a consecuencia de la pandemia.

Esta tesis solo se limita a comprender las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo, sin considerar otros aspectos como el diseño de la cimentación.

Se recomienda, realizar estudios geotécnicos para evaluar los posibles deslizamientos o caídas de rocas, ya que el material presente está sujeto a cargas constantes, por estar encima la carretera de penetración Ciudad de Dios – Cajamarca. Además, la zona estudiada está expuesta a intensas precipitaciones, especialmente de diciembre a marzo, por lo cual aumenta los riesgos geológicos, y si se plantea realizar trabajos de remodelación o cambio de la estructura se tiene que ejecutar en temporada de estiaje.

## 4.2 Conclusiones

- En definitiva, se determinó que las características geomecánicas y geotécnicas del material de cimentación para los estribos del puente Quindén Bajo, son los adecuados, ya que presentan buenas características geotécnicas, que garantizan la seguridad, durabilidad y estabilidad de la estructura del puente Quindén Bajo, pero se recomienda cimentar sobre la roca, que se encuentra aproximadamente a 2.50 m.
- Se realizó el análisis mediante RMR de Bieniawski, se obtuvo que el macizo rocoso, sobre el que se construirá el estribo derecho del puente Quindén Bajo, presenta un RMR básico promedio de 58, roca de calidad Media de Clase III. De igual forma, se efectuó la evaluación según el índice GSI, se determina que el macizo rocoso del área de estudio es de Buena calidad, con un GSI promedio de 66.
- Se efectuó el análisis geotécnico obteniendo resultados según SUCS/AASHTO, que el estribo derecho presenta un suelo GP-GM y en el estribo izquierdo un suelo GP y Roca.
- Finalmente, se establece que el suelo presenta una carga admisible de 1.65 Kg/cm<sup>2</sup>, y la roca tiene una carga admisible de 2.50 Kg/cm<sup>2</sup>.

## REFERENCIAS

- Adauto, M. & Cheong, J. (2018). *Estudio geotécnico para el diseño de la cimentación de un reservorio de cabecera de 20.000 m<sup>3</sup> en el sector 330 Villa María del Triunfo – Lima*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12727/4812>.
- Bendezu, H.; De la Cruz, Y; Huaranca, E.; Palomino, W.; Yucra, E. & Ventura, C. (2013). *Proyecto: “Construcción Puente Carrozable de Interconexión Rumichaca – Yanamilla”*. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *“Engineering Rock Mass Classifications”: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. United States: Wiley-Interscience.
- Capote, J. (2019). *La mecánica de suelos y las cimentaciones en las construcciones industriales. La mecánica de suelos y las cimentaciones*. Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Cartaya, P. (2001). *Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental del país*. (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223517652004>.
- Cipriano, R. & Marín, E. (2018). *Propuesta de Sostenimiento en base a la Caracterización Geomecánica de la galería Nv. 9, Unidad Minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/13943>.
- Cossio, A. (1964). *Geología de los Cuadrángulos de Santiago de Chuco y Santa Rosa (Hojas 17-g y 18-g)*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/158>.
- Culqui, J. (2013). *Estudio del puente San Juan*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/565>.
- Cruzado, G. (2009). *Estudio de Geología*. Gobierno Regional de Cajamarca, Perú.

- Chura, W. (2016). *Caracterización Geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana maría – la Rinconada*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4489>
- Deere, D.U. and Deere, D.W. (1988). *The rock quality designation (RQD) Index in Practice*. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.
- Del Pino, P.; Trelles, J. & Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2005). *Patrones de daños producidos por desastres naturales en sistemas de agua y saneamiento rural*. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Lima, Perú.
- Ferrer, M. & González, L. (1999). *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. España: Instituto geológico y Minero de España (IGME).
- Gómez, E. (2018). *Caracterización geomecánica preliminar de la Formación Naranco*. (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10651/48514>.
- Gonzales, L.; Ferrer, M. & Ortuño, L. & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid, España: Pearson Education.
- Garrido, U. (1992). “*IV Curso Internacional de Ingeniería Geotecnia Aplicada a Obras*” *Modulo 1: Geología Aplicada a la Ingeniería Civil*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández, W. (2016). *Evaluación Geodinámica de las Laderas y Taludes entre Sunudén – San Miguel – Jangalá, provincia de San Miguel, Dpto – Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/114>.
- Huarcaya, Y. & Huacho, F. (2015). *Propuesta técnica para un área deportiva de multiuso con la utilización del micropavimento en la I.E. N° 36214 de Bella Vista-Lircay*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/269>.

- International society for rock mechanics commission on standardization of laboratory and field tests: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, Volumen 15, Issue 6, 1978, pp. 319-368, ISSN 0148-9062, [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(78\)91472-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(78)91472-9).
- Llanos, J. (2013). Estudio geológico geotécnico de la presa de tierra Cotachaca distrito Crucero – Carabaya. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2795>.
- Navarro, P. (2013). *Nuevas dataciones en el Segmento Sur de Cajamarca*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/747>.
- Neyra, A. (2019). *Estudio geológico geotécnico y mecánica de suelos para la construcción del Puente Malvas – Malvitas distrito de Suyo – provincia de Ayabaca – departamento de Piura*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1807>.
- Navarro, P. & Monge, R. (2008). *Periodos Eruptivos del Volcanismo Cenozoico (Grupo Calipuy) en la Cordillera Occidental del Norte del Perú: Segmento Cajamarca*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/401>.
- Navarro, P., Monge, R. & Flores, A. (2008). *Centros Volcánicos Oligo-Miocénicos (Grupo Calipuy) en la Zona Sur de Cajamarca*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3381>.
- Martínez, E (2003) Manual de mecánica de suelos I. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Marinos, P. & Ever, H. (2000). *Gsi: A Geologically Friendly Tool For Rock Mass Strength Estimation*. Paper presented at the ISRM International Symposium, Melbourne, Australia.
- Morales, P. (2014). *Estudio Geotécnico para Cimentaciones de Estructuras: Puentes, Muros y Edificios, en Suelos y Rocas*. (Tesis de pregrado). Universidad Central

- del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3017>.
- Marinos, P., Marino, V. & Hoek, E. (s.f). *El índice de resistencia geológica (GSI): Una herramienta de caracterización para la evaluación de las propiedades ingenieriles de macizos rocosos*. Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia.
- Medina, L.; Ramos, W.; Latorre, O & Gonzales, J. (2017). *Evaluación Geológica de las Zonas afectadas por el Niño Costero 2017 en las regiones La Libertad-Cajamarca*. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), Lima, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/819>.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Puentes*. Lima, Perú. Recuperado de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUAL%20DE%20PUENTES%20PDF.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUAL%20DE%20PUENTES%20PDF.pdf)
- Ministerio de Transportes e Infraestructura (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos*, Managua, Nicaragua. Recuperado de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-para-revision-estudios-geotecnicos.pdf>
- Ramírez, P. & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid, España.
- Romero, W. (2004). *Geología y geotécnica con fines de construcción de puentes – análisis del puente internacional Aguas Verdes (departamento de Tumbes)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Oblitas, J. (2018). *Guía de Investigación científica 2018*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Ortiz, B. (2019). *Estudio geotécnico con fines de cimentación del puente Juan Santos Atahualpa, carretera variante Uchumayo tramo II*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8923>.
- Paredes, A. (2019). *Potencial Acuífero mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV) en las unidades litoestratigráficas en la zona de Agocucho 2019*. (Tesis de licenciatura).

Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/21795>.

Quintana, N. (2019). *Evaluación geomecánica del puente La Cultura Uchumayo – Arequipa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. Recuperado de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1607>.

Villacorta, S. (2007). *Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en la cuenca del río Llaminchán (Cajamarca, Perú)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

## ANEXOS

Anexo N°1: FOTOGRAFÍAS



*Figura 50.* Macizo Rocos del área de estudio, margen izquierdo. Fuente: Propia (2022).



*Figura 51.* Identificación de suelo presente en el margen derecho. Fuente: Propia (2022).



*Figura 52. Medición de rumbos y buzamientos.  
Fuente: Propia (2022).*

Anexo N°2: Tabla de parámetros y valores de la clasificación geomecánica RMR89.

PARÁMETROS		ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca sana	Ensayo Carga Puntual (Mpa)	>10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Para este rango bajo, se prefiere el ensayo Compresión Simple (Mpa)	
		Compresión Simple (Mpa)	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5-25 1-5 < 1	
	Valoración		15	12	7	4	2 1 0	
2	RQD %		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25	
		Valoración		20	17	13	8	3
3	Espaciado de discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	6 - 20 cm	< 6 cm	
		Valoración		20	15	10	8	5
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m	
		Valoración		6	4	2	1	0
		Abertura	Cerrada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5mm	
		Valoración		6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Valoración		6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
		Valoración		6	4	2	2	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
	Valoración		6	5	3	1	0	
5	Presencia de Agua	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 l/min	10 - 25 l/min	25 - 125 l/min	>125 l/min	

Relación Presión de agua / Tensión principal máxima	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5
	Seco	Ligerament e Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
Valoración	15	10	7	4	0

Nota. Esta tabla ha sido adaptada de “The Rock Mass Rating System (Geomechanics Classification of Rock Masses)” por Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, pp. 54-55. Copyright 1989 por John Wiley & Sons, Inc.



Anexo N°4: Tabla con direcciones de las discontinuidades.

DIP	DIP DIRECTION	SET
68	72	
68	70	
51	88	
62	75	
56	83	
66	78	
53	85	
61	70	
58	77	
67	69	
68	81	
82	58	
78	73	
72	70	
81	57	
80	55	<b>J1</b>
77	68	
83	71	
72	66	
76	83	
81	65	
72	23	
88	12	
64	73	
76	19	
67	71	
64	26	
71	68	
66	72	
69	28	

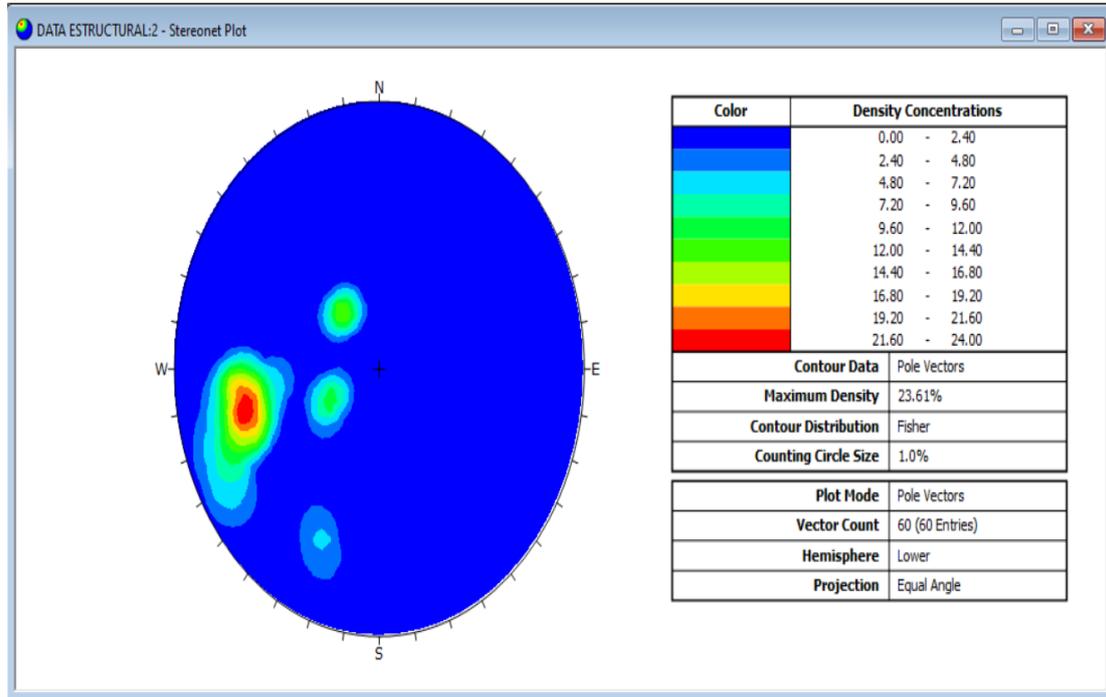
32	128	
29	145	
34	149	
32	146	
28	133	
33	129	
35	138	
31	136	
27	144	
30	148	
64	86	
68	85	
72	82	
69	83	
66	88	<b>J2</b>
69	90	
74	80	
66	79	
67	87	
70	83	
24	73	
37	55	
36	50	
22	72	
28	58	
37	65	
34	71	
32	68	
25	59	
29	70	

---

Nota. Fuente: Propia (2022).

Anexo N°5: Proyección estereográfica de familias de fracturas.

Se puede visualizar que las familias existentes, están más inclinadas a enfocar su densidad de polos hacia el Suroeste.



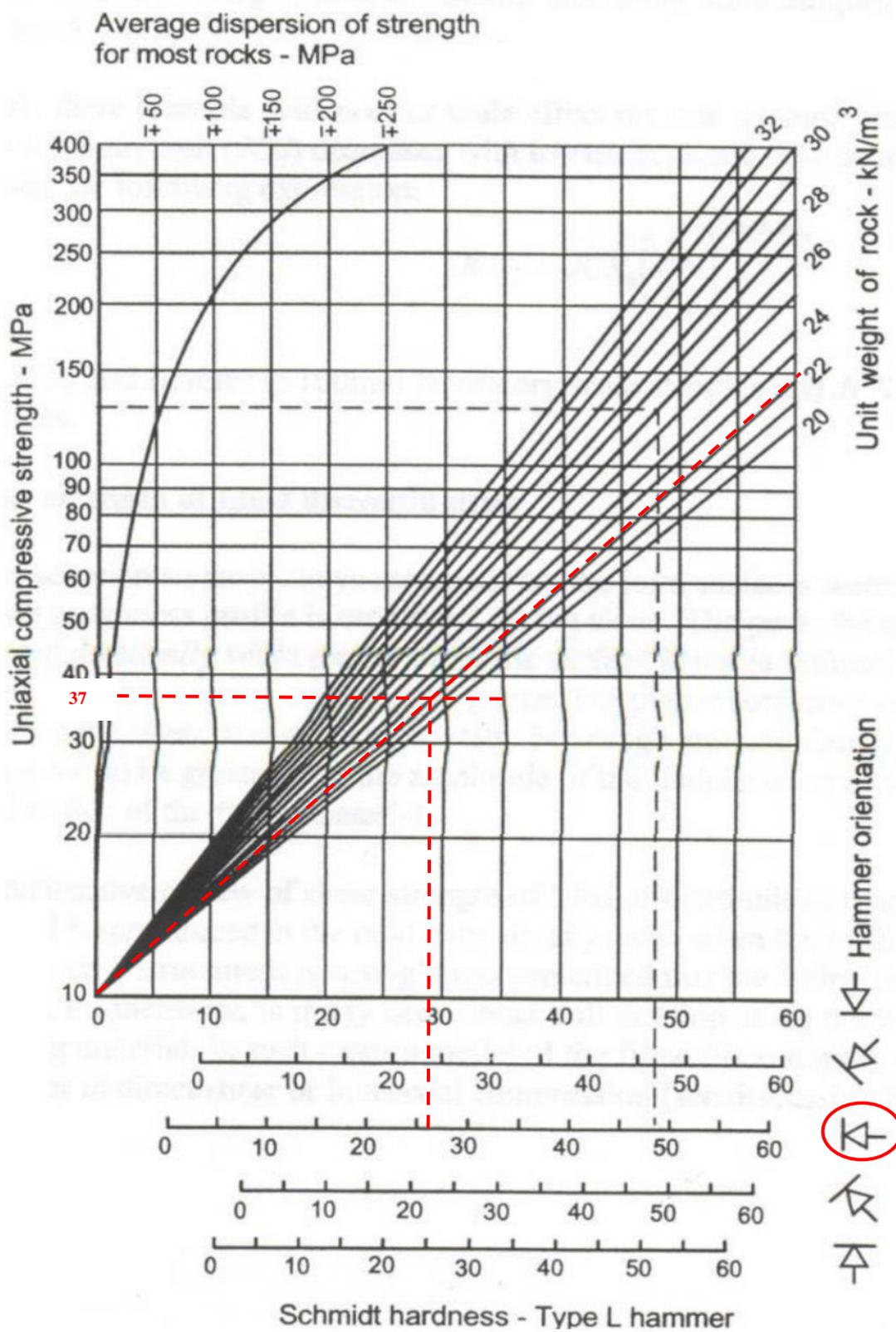
Fuente: Propia (2022).

Anexo N°6: Valores típicos del peso específico y por porosidad de las rocas.

Roca	Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Andesita	2,2-2,35	10-15
Anfibolita	2,9-3,0	—
Arenisca	2,3-2,6	5-25 (16,0)
Basalto	2,7-2,9	0,1-2
Caliza	2,3-2,6	5-20 (11,0)
Carbón	1,0-2,0	10
Quarcita	2,6-2,7	0,1-0,5
Creta	1,7-2,3	30
Diabasa	2,9	0,1
Diorita	2,7-2,85	—
Dolomía	2,5-2,6	0,5-10
Esquisto	2,5-2,8	3
Gabro	3,0-3,1	0,1-0,2
Gneiss	2,7-3,0	0,5-1,5
Granito	2,6-2,7	0,5-1,5 (0,9)
Grauvaca	2,8	3
Mármol	2,6-2,8	0,3-2 (0,6)
Lutita	2,2-2,6	2-15
Pizarra	2,5-2,7	0,1-1
Riolita	2,4-2,6	4-6
Sal	2,1-2,2	5
Toba	1,9-2,3	14-40
Yeso	2,3	5

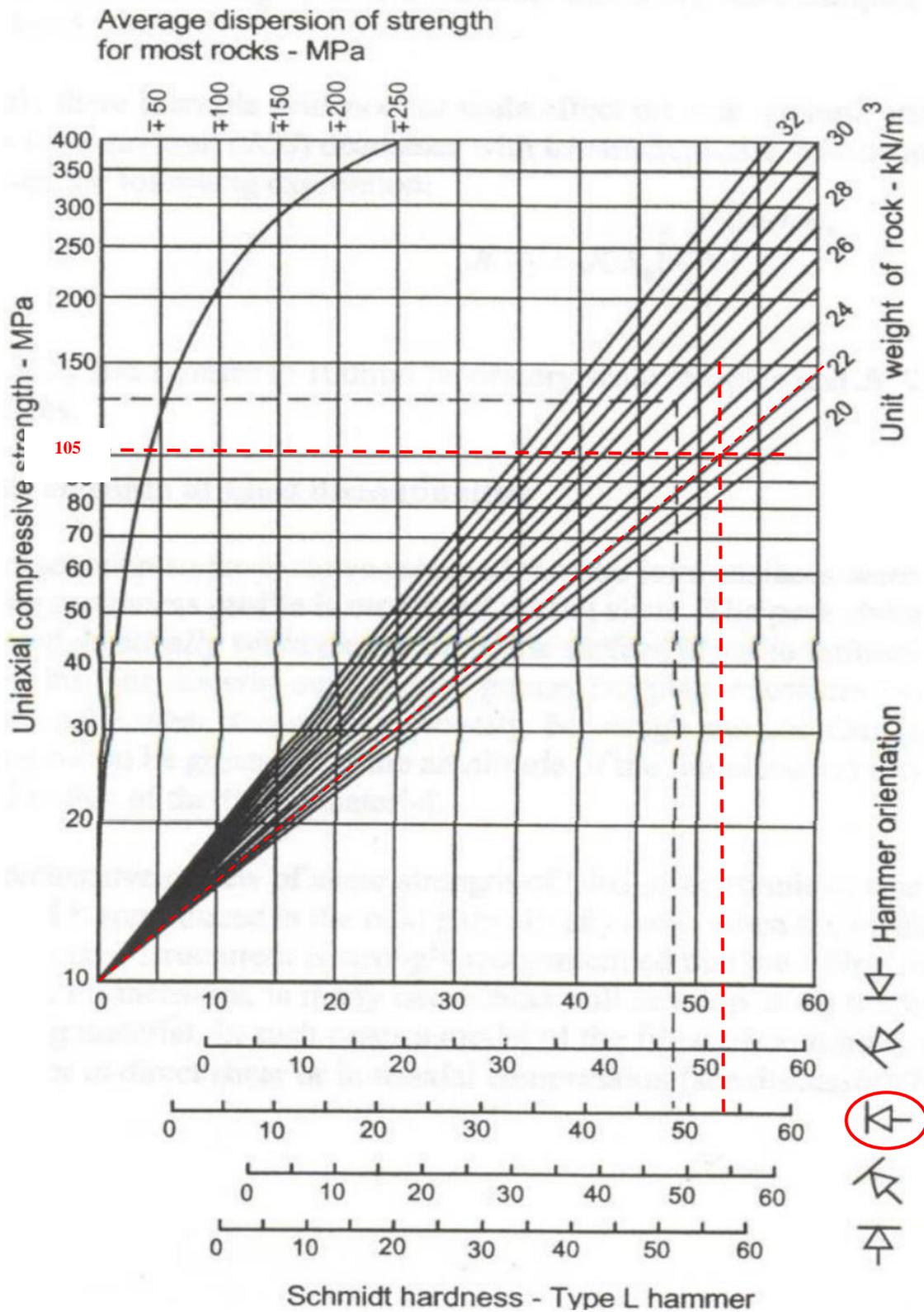
Fuente: Gonzáles et al. (2002).

Anexo N°7: Abaco de Miller – Estación Geomecánica 01.



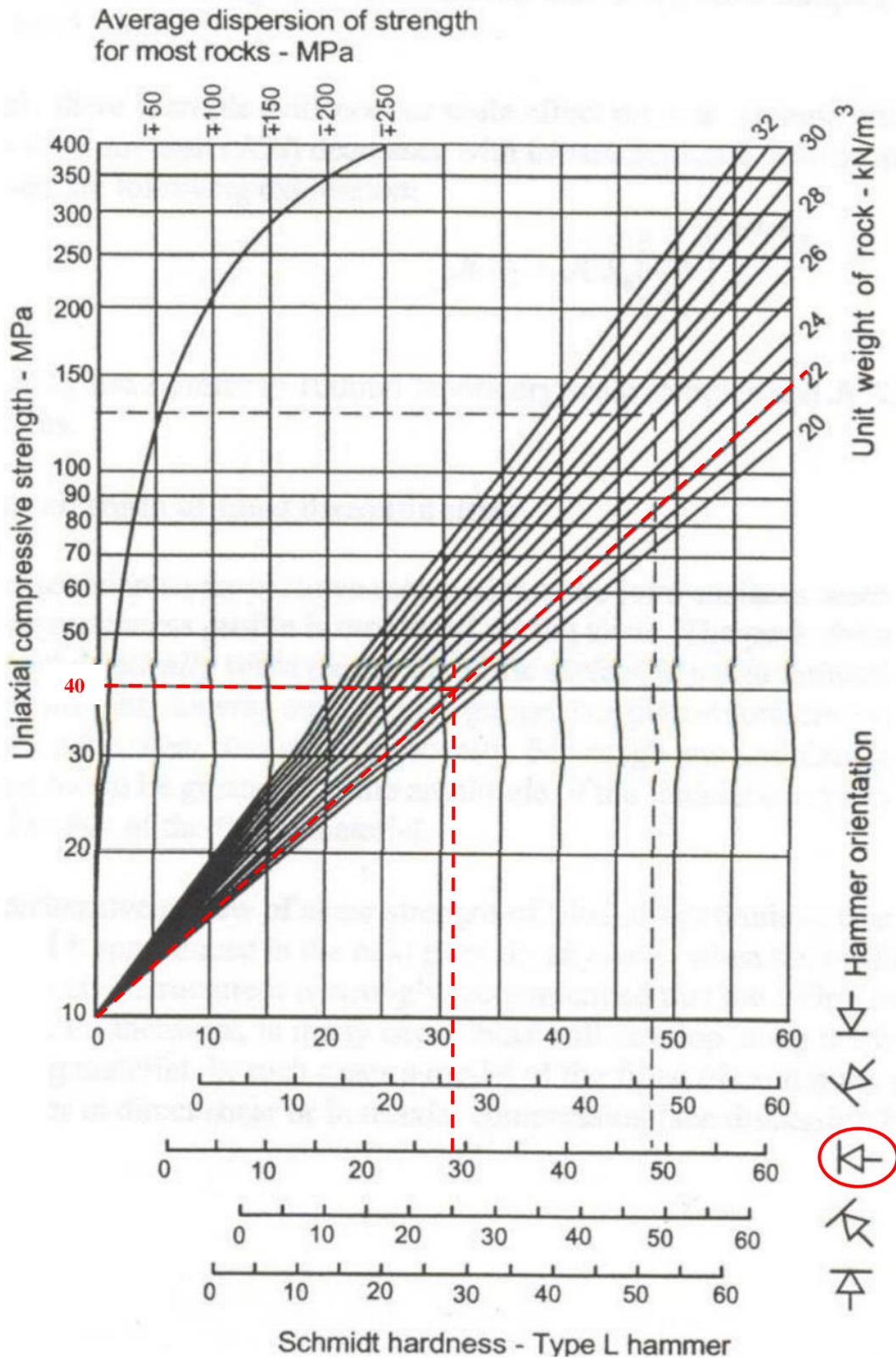
Fuente: Basado en Miller (1966).

Anexo N°8: Abaco de Miller – Estación Geomecánica 02.



Fuente: Basado en Miller (1966).

Anexo N°9: Abaco de Miller – Estación Geomecánica 03.



Fuente: Basado en Miller (1966).

Anexo N°10: Perfiles de Rugosidad.

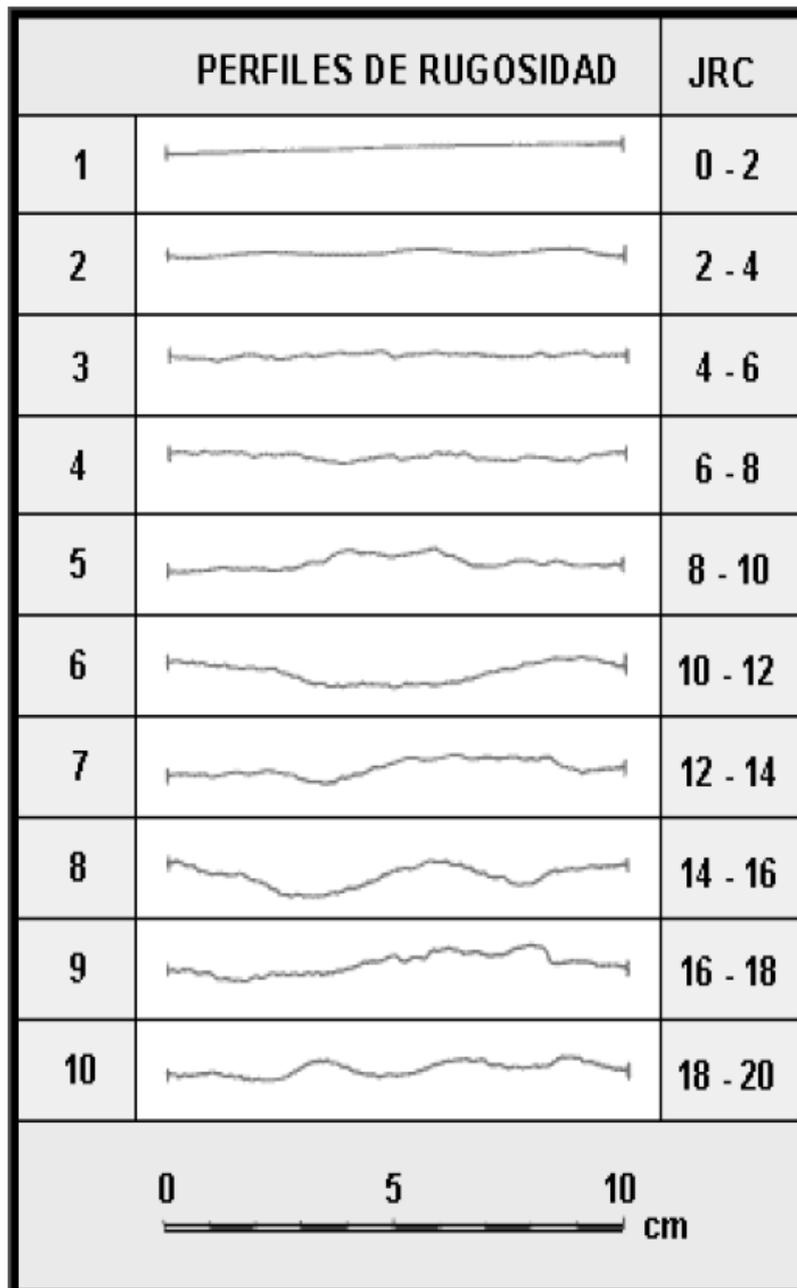


Figura 53. Perfiles de Rugosidad con el coeficiente de rugosidad (JRC).

Fuente: Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes (Ramírez & Alejano, 2004).

Anexo N°11: Resultados obtenidos en campo y laboratorio de mecánica de  
suelos.



# GECONSAC

000185

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

### 3. INVESTIGACIONES DE CAMPO

Previamente a la ejecución de los trabajos de campo, se realizó un reconocimiento geológico y geotécnico del Área de Estudio.

Los trabajos de exploración comprendieron la excavación de pozos a cielo abierto (calicatas) ubicados convenientemente dentro del área comprometida por el Proyecto.

Las excavaciones se realizaron utilizando herramientas manuales a partir del nivel actual del terreno, habiéndose profundizado hasta un máximo de 2.80 m., se han excavado 02 calicatas identificadas como C-1 a C-2 respectivamente (ver Plano Topográfico).

Preliminarmente la estratificación encontrada se ha descrito y clasificado en forma Visual-Manual, de acuerdo a la Norma ASTM D-2488. Debido a las características del material obtenido de las calicatas, cuyas muestras disturbadas representativas se obtuvieron mediante cuarteo, es que se tomaron para el análisis granulométrico solo material  $\leq$  de 3" y en cantidades suficientes para realizar los ensayos de laboratorio correspondientes.

Las muestras fueron debidamente identificadas y embaladas en bolsas plásticas y de polietileno, para ser trasladadas al laboratorio en perfectas condiciones.

En los Registros de Calicatas se indica el espesor de los estratos de suelos y su clasificación de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que se corrobora con los ensayos de clasificación (Análisis Granulométrico por Tamizado y Límites de Atterberg).

Superficialmente el área se encuentra cubierta por un conglomerado que viene a ser una Grava uniforme. Por debajo de este material y en forma general observamos materiales más gruesos de 0.80 metros de espesor, que sirven de matriz a una bolonería de espesor indefinido que le dan un estado de compacidad denso a toda la masa del suelo, en este material se puede apoyar los cimientos del puente carrozable. Geológicamente el área estudiada no presenta fallas importantes que pongan en riesgo la estabilidad futura del puente.

La calicata realizada en el terreno, nos permite deducir la siguiente interpretación:

Se muestra a continuación el resumen del programa de exploración que incluye la relación de calicatas y muestras.

#### Programa de Exploración

Concepto	Tipo	Cantidad
Exploración de subsuelo	Calicatas	2
Propiedades Índice	Muestra Alterada	2

#### Relación de Calicatas

Calicata	Profundidad (m)
C-1	2.50
C-2	2.80

**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdaniv  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393



**GECONSAC** 000186

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

#### 4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las Propiedades Índice y Geotécnicas de los Suelos, se han realizado ensayos de Laboratorio, de acuerdo con procedimientos de la American Society for Testing Materials (ASTM) y que se indican en el cuadro siguiente:

##### Relación de Ensayos

Muestra	Ensayo	Norma ASTM	N° Ensayos
Suelo	Análisis Granulométrico por Tamizado (vía húmeda)	D 422	2
	Límite Líquido	D 423	2
	Límite Plástico	D 424	2
	Clasificación de Suelos, Sistema SUCS	D 2487	2
	Determinación del Contenido de Humedad	D 2216	2
	Densidad Natural		2

Los resultados de Ensayos de Campo y Laboratorio, se muestran a continuación en un cuadro resumen, adjuntándose los registros respectivos, en el anexo respectivo.

##### Resultados de Ensayos - Propiedades Índice de Suelos

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Densidad Natural (%)	Humedad (%)	Análisis Granulométrico			Límites de Atterberg			SUCS
					N° 4	N° 40	N°200	LL	LP	IP	
C-1	M-1	2.50	2.202	18.20	80.50	69.78	42.17	20.00	12.94	7.06	SC
C-2	M-1	2.80	2.215	18.41	39.78	28.90	15.38	21.00	17.19	3.81	GP-GM

**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipezcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. Ñ - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393



# GECONSAC

000196

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

## PARAMETROS DE LOS SUELOS

OBRA : "SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
UBICACIÓN: C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
SOLICITA: CONSORCIO SAN MIGUEL  
FECHA: 23 DE FEBRERO DEL 2017  
SUELO IDENTIFICADO: GP-GM (GRAVA LIMOSA UNIFORME )  
DESARROLLO: A PARTIR DE -0,10 m, DESDE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

### 1) Densidad Relativa ( $D_r$ ) y Angulo de fricción ( $\phi$ )

$$D_r(\%) = 11.7 + 0.76(222N_{\text{campo}} + 1600 - 7.68 G'_o - 50Cu^2)^{0.50}$$

$N_{\text{campo}} = 21$   
 $G'_o = 24.33 \text{ kN/m}^2$   
 $Cu = 4$   
 $N_{\text{corr}} = 21$

$D_r(\%) =$	<b>67</b>	%
-------------	-----------	---

$$\phi_1 = 27.1 + 0.3 N_{\text{corr}} - 0.00054 N_{\text{corr}}^2$$

$$\phi_2 = (20 N_{\text{corr}})^{1/2} + 20$$

$\phi_1 =$	<b>33.16</b>	grados
------------	--------------	--------

$\phi =$	<b>40.49</b>	grados
----------	--------------	--------

### 2) CONSTANTE DE BALASTO ( $K_s$ )

$$K_s = q/St \text{ kg/cm}^3$$

$K_s =$  **1.10**  $\text{kg/cm}^3$

$q =$  Esfuerzo Transmitido  
 $St =$  Asentamiento

### 3) MODULOS DINAMICOS:

$$E = 5^*(N+15)$$

$N = 21$

$E =$  **180**  $\text{kg/cm}^2$

$$G = E/2*(1+v)$$

$v = 0.3$

$G =$  **69**  $\text{kg/cm}^2$

### 4) VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE ( $V_s$ )

$$V_s = 84*N^{0.5} \text{ m/seg}$$

$N = 21$

$V_s =$  **216**  $\text{m/seg}$

**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdaniví  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393



**GECONSAC** 000197

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

## CALCULO DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE (TEORIA BELL - TERZAGHI)

OBRA : "SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
UBICACIÓN: C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA: 23 DE FEBRERO DEL 2017  
SUELO IDENTIFICADO: GP-GM (GRAVA LIMOSA UNIFORME )  
DESARROLLO: A PARTIR DE -0,10 m, DESDE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

### CIMENTACION CORRIDA:

FORMULA:  $q_a = [0.5 \cdot B \cdot N\& + c \cdot N_c + \& D_f \cdot N_q] \cdot 1/F$

Donde:

&1 ( ton/m3) =	1.98	N& =	$tg^5(\theta)$
&2 ( ton/m3) =	1.98	Nc =	$2tg^3(\theta) + 2tg(\theta)$
B (mts) =	0.80	Nq =	$tg^4(\theta)$
c (ton/m2) =	0.28	$\theta =$	$(45+\phi/2)$
$\phi$ (grados)=	25		
Df (mts) =	1.00		
F =	3.00		
N& =	10		
Nc =	11		
Nq =	6		
<b>qa (ton/m2) =</b>	<b>7.54</b>		
<b>qa (Kg/cm<sup>2</sup>) =</b>	<b>0.75</b>		

### CIMENTACION CUADRADA:

FORMULA:  $q_a = [0.42 \cdot B \cdot N\& + 1,2 \cdot c \cdot N_c + \& D_f \cdot N_q] \cdot 1/F$

B (mts) =	2.00
Df (mts) =	2.50
<b>qa (ton/m2) =</b>	<b>16.52</b>
<b>qa (Kg/cm<sup>2</sup>) =</b>	<b>1.65</b>

**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quirozco Urdanivis  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: gecon@gecon.com



# GECONSAC

000198

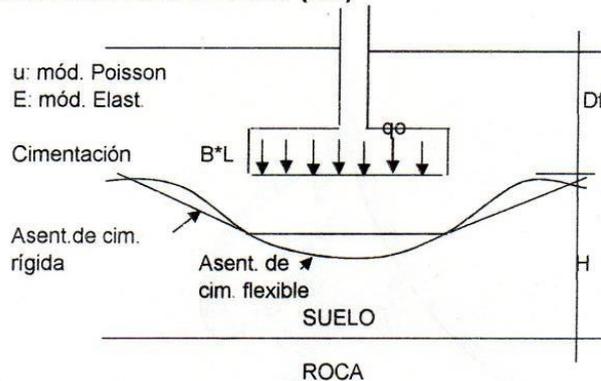
Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

## ASENTAMIENTOS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

OBRA : \*SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
UBICACIÓN: C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA: 23 DE FEBRERO DEL 2017  
SUELO IDENTIFICADO: GP-GM (GRAVA LIMOSA UNIFORME)  
DESARROLLO: A PARTIR DE -0,10 m, DESDE LA SUPERFICIE DEL TERRENO

### ASENTAMIENTO INMEDIATO ( $Se$ )



Si  $Df = 0$  y  $H = \infty$ : Cimentación Flexible  
 $Se = \frac{B q_0 (1-u^2) \alpha}{E}$  (Esquina de la cimentación flexible)  
 $Se = \frac{B q_0 (1-u^2) \alpha}{E}$  (Centro de la cimentación flexible)  
 $Se = \frac{0.80 B q_0 (1-u^2) \alpha}{E}$  (Centro de la cimentación rígida)

$B$  = ancho de la cimentación  
 $L$  = longitud de la cimentación  
 $E$  = módulo de Elasticidad  
 $u$  = módulo de Poisson  
 $q_0$  = esfuerzo transmitido

Donde:

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left\{ \ln \left( \frac{(1+m^2)^{1/2} + m}{(1+m^2)^{1/2} - m} \right) + m \ln \left( \frac{(1+m^2)^{1/2} + 1}{(1+m^2)^{1/2} - 1} \right) \right\}$$

$m = L/B$

### Para la CIMENTACION CUADRADA

B (cm):	200
L (cm):	200
m :	1
$q_0$ (kg/cm <sup>2</sup> ):	1.65
u :	0.30
E (kg/cm <sup>2</sup> ):	180
$\alpha$ :	1.12

Se (cm) flex. esq:	0.937
Se (cm) flex. cent:	1.874
Se (cm) rígida :	1.499

**GECON SA**  
 GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S  
  
 Ing. Jorge L. Quirozco Ur  
 C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. Ñ - Lote 06  
 Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
 Movistar: 948180393 RPM: #948180393



# GECONSAC

000199

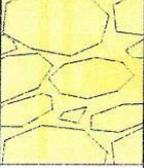
Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

OBRA: "SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  UBICACIÓN: C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA SOLICITA: CONSORCIO SAN MIGUEL FECHA: 23 DE FEBRERO DEL 2017	SONDEO:  <p style="text-align: center;"><b>PC-01</b></p>
---	--

## PERFIL ESTRATIGRAFICO

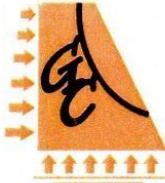
EXPLORACION: A cielo abierto (calicata)	COTA (m)	REGISTRADO POR : JLQU
MARGEN IZQUIERDA	N.F. (m) : No se encontró	REVISADO POR : JLQU

Prof. (m)	Muestra	Simbolo	Descripción del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO
			COVERTURA VEGETAL	OL
-2.50	MAB		ARENA ARCILLOSA COLOR MARRON , ESTADO HUMEDODE PARTICULAS SUB ANGULARES A SUB REDONDEADAS, DE UNA COMPACIDAD SEMI COMPACTA, DE ESTRUCTURA RUGOSA	SC
3.00			ROCA SEDIMENTARIA TIPO ARENISCA DE COLOR VARIABLE, CONTIENE CLASTOS DE TAMAÑO DE ARENA, CONTIENE ESPACIOS ENTRE SUS GRANOS, MATRIS O DE CEMENTOS DE SILICE O CARBONATO DE CALCIO	R°
3.50				
5.00				

**GECON SAC**  
 GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
  
 Ing. Jorge L. Quirozco Urdanivia  
 C.I.P. / 91018

OBSERVACIONES  
 MAB: muestra alterada en bolsa  
 MIB: muestra inalterada en bloque  
 MIT: muestra inalterada en tubo

Urb. Villa del Contador Mza. N° - Lote 06  
 Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
 Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
 E-mail: geconsac\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000200

**Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.**

Estudios Geotécnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS**

**ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO  
ASTM D-422**

**PROYECTO :** SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
**SOLICITANTE :** CONSORCIO SAN MIGUEL  
**RESPONSABLE :** ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA  
**UBICACIÓN :** C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
**FECHA :** 23 DE FEBRERO DEL 2017

**DATOS DEL ENSAYO**

Muestra :  
Peso de muestra seca :  
o perdido por lavado :

PC-01	DESCRIP. CALICATA
500.00	Estrato : M1
210.86	Prof. (m) : -0.10 a -2.50

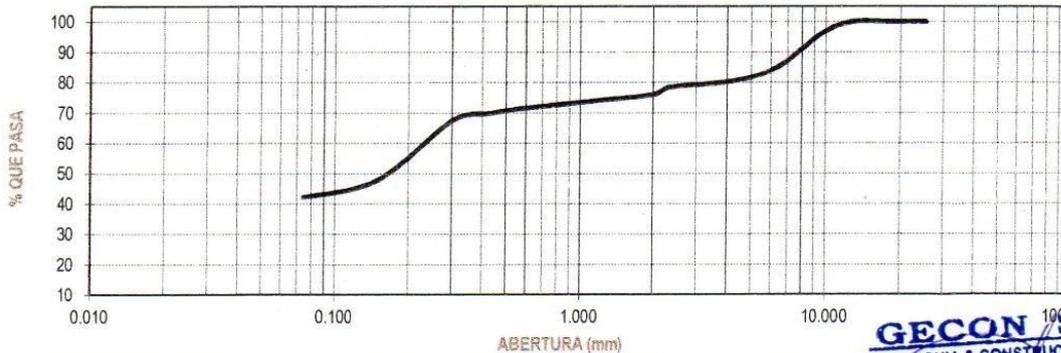
HUMEDAD NATURAL	
Sh + Tara	55.27
Ss + Tara	50.05
Tara	21.40
Peso Agua	5.22
Peso Suelo Seco	28.65
Humedad(%)	18.20

**MARGEN IZQUIERDA**

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	LÍMITES E INDICES DE CONSISTENCIA
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					L. Líquido : 20.00
2"	50.800					L. Plástico : 12.94
1 1/2"	38.100					Ind. Plástico : 7.06
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. SUCS : SC
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. AASHTO : A-4 (1)
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.525	20.00	4.00	4.00	96.00	
1/4"	6.350	55.00	11.00	15.00	85.00	
No4	4.178	22.50	4.50	19.50	80.50	
8	2.360	10.00	2.00	21.50	78.50	
10	2.000	12.30	2.46	23.96	76.04	
16	1.180	9.78	1.96	25.92	74.08	
30	0.600	12.30	2.46	28.38	71.62	
40	0.420	9.20	1.84	30.22	69.78	
50	0.300	11.36	2.27	32.49	67.51	
100	0.150	98.20	19.64	52.13	47.87	
200	0.074	28.50	5.70	57.83	42.17	
< 200		210.86	42.17	100.00	0.00	
Total		500.00				

**DESCRIPCION DE LA MUESTRA**  
Arena Arcillosa mezcla de arena-arcilla.  
Color beige, mezclada con material que pasa el 37.39% el tamiz N°200  
**GRAVA (%) :** 19.50  
**ARENA (%) :** 38.33  
**FINO (%) :** 42.17

**CURVA GRANULOMETRICA**



**GECONSAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
C.I.F. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N° - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000201

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

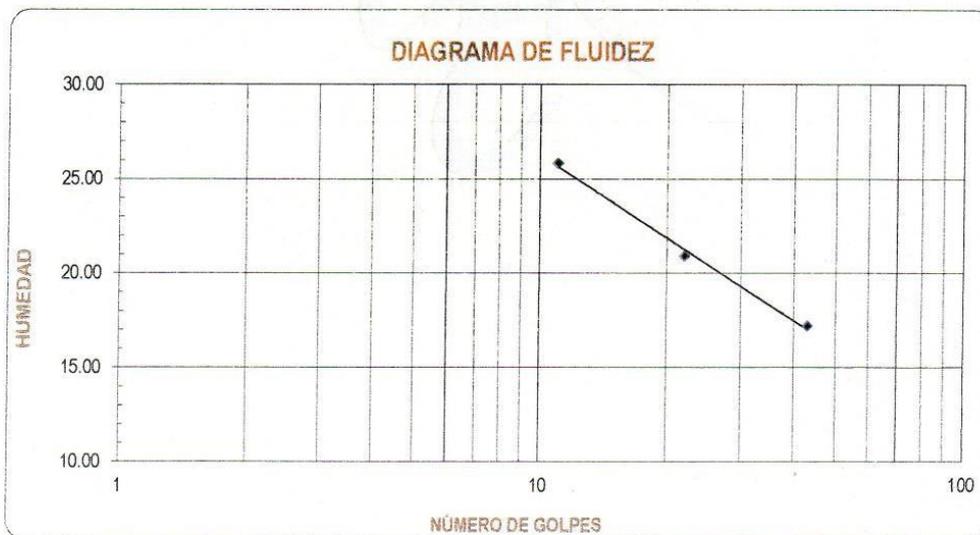
Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
SOLICITANTE : CONSORCIO SAN MIGUEL  
RESPONSABLE : ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA  
SICACIÓN : C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA : 23 DE FEBRERO DEL 2017  
CALICATA : PC-01

LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LIQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
Nº de golpes	11	22	43	-	-
Peso tara (g)	18.60	17.60	20.30	19.20	19.20
Peso tara + suelo húmedo (g)	53.10	58.23	57.45	73.50	74.00
Peso tara + suelo seco (g)	46.02	51.20	52.00	67.50	67.50
Humedad %	25.82	20.92	17.19	12.42	13.48
Límites	20.00			12.94	



**GECON/SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000202

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO : SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA

SOLICITANTE : CONSORCIO SAN MIGUEL

RESPONSABLE : ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA

UBICACIÓN : C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA

FECHA : 23 DE FEBRERO DEL 2017

CALICATA : PC-01

CONTENIDO DE HUMEDAD

D-2216

DESCRIPCIÓN	M1	M2
Peso de Tarro (gr.)	23.60	19.20
Peso de Tarro + Suelo Humedo (gr.)	54.23	56.30
Peso de Tarro + Suelo Seco (gr.)	50.10	50.00
Peso de Suelo Seco (gr.)	26.50	30.80
Peso de Agua (gr.)	4.13	6.30
% de Humedad (%)	15.58	20.45
% De Humedad Promedio (%)	18.02	

**GECON SAC**  
GEOECNIA & CONSTRUCCION S.A.C.  
Ing. Jorge L. Quipezcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N° - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000203

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

OBRA: "SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  UBICACIÓN: C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA SOLICITA: CONSORCIO SAN MIGUEL FECHA: 23 DE FEBRERO DEL 2017	SONDEO:   <b>PC-02</b>
---	---------------------------------

## PERFIL ESTRATIGRAFICO

EXPLORACION: A cielo abierto (calicata)		COTA (m)	REGISTRADO POR : JLQU	
MARGEN DERECHO		N.F. (m) : No se encontró	REVISADO POR : JLQU	
Prof. (m)	Muestra	Simbolo	Descripción del Estrato	Clasificación SUCS/AASHTO
-2.80	MAB		GRAVA LIMOSA MAL GRADUADA COLOR MARRON CLARO , ESTADO HUMEDODE PARTICULAS SUB ANGULARES A SUB REDONDEADAS, DE UNA COMPACIDAD SEMI COMPACTA	GP - GM
3.00				
5.00				

OBSERVACIONES  
 MAB: muestra alterada en bolsa  
 MIB: muestra inalterada en bloque  
 MIT: muestra inalterada en tubo

**GECON SAC**  
 GEOTECNIA & CONSTRUCCION S.A.C.  
 Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
 C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
 Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
 Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
 E-mail: geconsec\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000204

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS MECANICO POR TAMIZADO

ASTM D-422

PROYECTO : SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
SOLICITANTE : CONSORCIO SAN MIGUEL  
RESPONSABLE : ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA  
UBICACION : C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA : 23 DE FEBRERO DEL 2017

DATOS DEL ENSAYO

Muestra	PC-02	DESCRIP. CALICATA	HUMEDAD NATURAL	
Peso de muestra seca	500.00	Estrato : M1	Sh + Tara	55.27
Peso perdido por lavado	51.90	Prof. (m) : -0.10 a -2.80	Ss + Tara	49.50
			Tara	21.40
			Peso Agua	5.77
			Peso Suelo Seco	28.10
			Humedad(%)	20.52

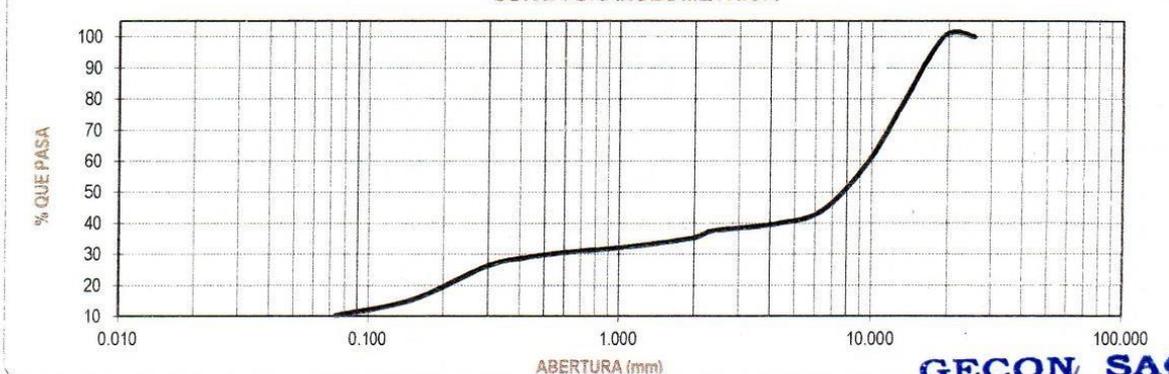
MARGEN DERECHA

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	LÍMITES E INDICES DE CONSISTENCIA
3"	76.200					L. Líquido : 21.00
2 1/2"	63.500					L. Plástico : 17.19
2"	50.800					Ind. Plástico : 3.81
1 1/2"	38.100					Clas. SUCS : GP-GM
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	Clas. AASHTO : A-1-a (0)
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.700	120.00	24.00	24.00	76.00	
3/8"	9.525	85.00	17.00	41.00	59.00	
1/4"	6.350	75.60	15.12	56.12	43.88	
No4	4.750	20.50	4.10	60.22	39.78	
8	2.360	11.30	2.26	62.48	37.52	
10	2.000	10.60	2.12	64.60	35.40	
16	1.180	13.40	2.68	67.28	32.72	
30	0.600	10.70	2.14	69.42	30.58	
40	0.420	8.40	1.68	71.10	28.90	
50	0.300	12.60	2.52	73.62	26.38	
100	0.150	55.00	11.00	84.62	15.38	
200	0.075	25.00	5.00	89.62	10.38	
< 200		51.90	10.38	100.00	0.00	
Total		500.00				

DESCRIPCION DE LA MUESTRA  
Arena Arcillosa mezcla de arena-arcilla.  
Color beige, mezclada con material que pasa el 37.39% el tamiz N°200

GRAVA (%): 60.22  
ARENA (%): 29.40  
FINO (%): 10.38

CURVA GRANULOMETRICA



GECON SAC  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipezco Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: gecon@gecon.com



# GECONSAC

000205

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

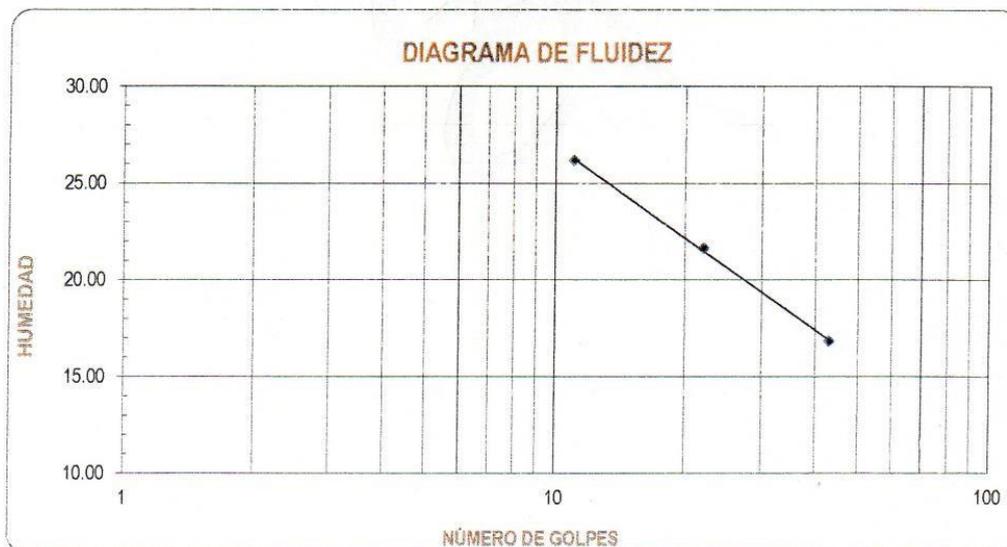
Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA

PROYECTO : SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
SOLICITANTE : CONSORCIO SAN MIGUEL  
RESPONSABLE : ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA  
UBICACIÓN : C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA : 23 DE FEBRERO DEL 2017  
CALICATA : PC-02

LÍMITES DE CONSISTENCIA	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	11	22	43	-	-
Nº de golpes					
Peso tara (g)	18.60	17.60	20.30	19.20	19.20
Peso tara + suelo húmedo (g)	53.20	58.23	57.45	73.50	74.00
Peso tara + suelo seco (g)	46.02	51.00	52.10	65.50	66.00
Humedad %	26.19	21.65	16.82	17.28	17.09
Limites		21.00			17.19



**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
Ing. Jorge L. Quipezcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac.laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

000206

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CONTENIDO DE HUMEDAD

PROYECTO : SERVICIO DE INSTALACION DE PUENTES MODULARES: PUENTE QUINDEN PAQUETE 5 - CAJAMARCA  
SOLICITANTE : CONSORCIO SAN MIGUEL  
RESPONSABLE : ING. JORGE LUIS QUIPUZCOA URDANIVIA  
UBICACIÓN : C.P.M. QUINDEN - EL PRADO - SAN MIGUEL - CAJAMARCA  
FECHA : 23 DE FEBRERO DEL 2017  
CALICATA : PC-02

CONTENIDO DE HUMEDAD

D-2216

DESCRIPCIÓN	M1	M2
Peso de Tarro (gr.)	23.60	19.20
Peso de Tarro + Suelo Humedo (gr.)	54.23	56.30
Peso de Tarro + Suelo Seco (gr.)	49.00	50.00
Peso de Suelo Seco (gr.)	25.40	30.80
Peso de Agua (gr.)	5.23	6.30
% de Humedad (%)	20.59	20.45
% De Humedad Promedio (%)	20.52	

**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. Ñ - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac.laboratorio@hotmail.com



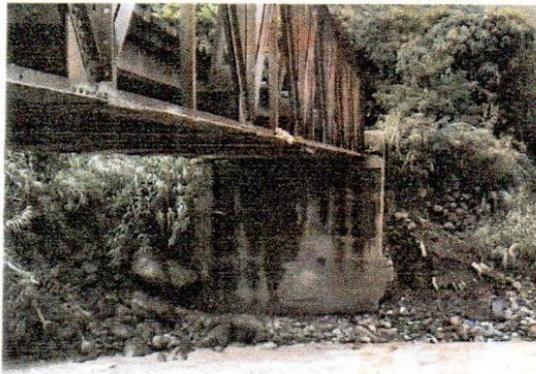
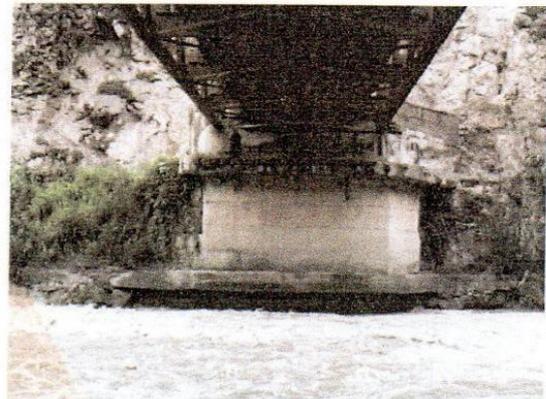
**GECONSAC**

000207

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

Vista panorámica del puente existente , donde se instalara un puente modular, está ubicado  
en el tramo Ciudad de Dios – Cajamarca, Centro Poblado Menor Quiden, distrito El Prado,  
provincia San Miguel, departamento de Cajamarca.



**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
  
Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
C.I.P. 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsac\_laboratorio@hotmail.com



# GECONSAC

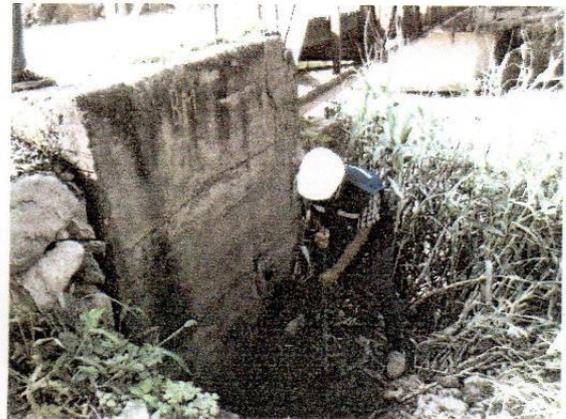
000208

Geotecnia & Construcción - Servicios Generales S.A.C.

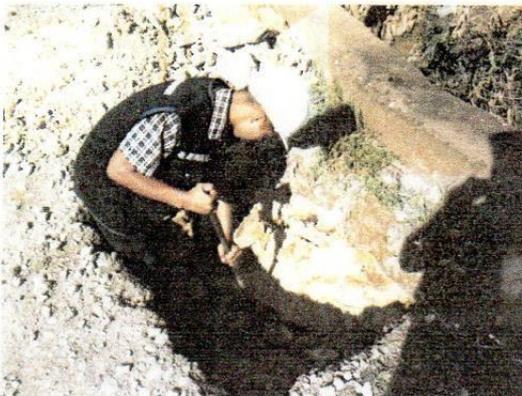
Estudios Geotecnicos, Laboratorio de Mecánica de Suelos, Asfalto, Concreto, Materiales de Construcción  
Análisis Químico de Agua e Hidráulica y Construcciones en General

Realización de calicatas para el estudio de suelo, en los diferentes estribos donde se colocara los apoyos para el puente modular está ubicado en el tramo Ciudad de Dios – Cajamarca, Centro Poblado Menor Quiden, distrito El Prado, provincia San Miguel, departamento de Cajamarca.

#### MARGEN DERECHA



#### MARGEN IZQUIERDA

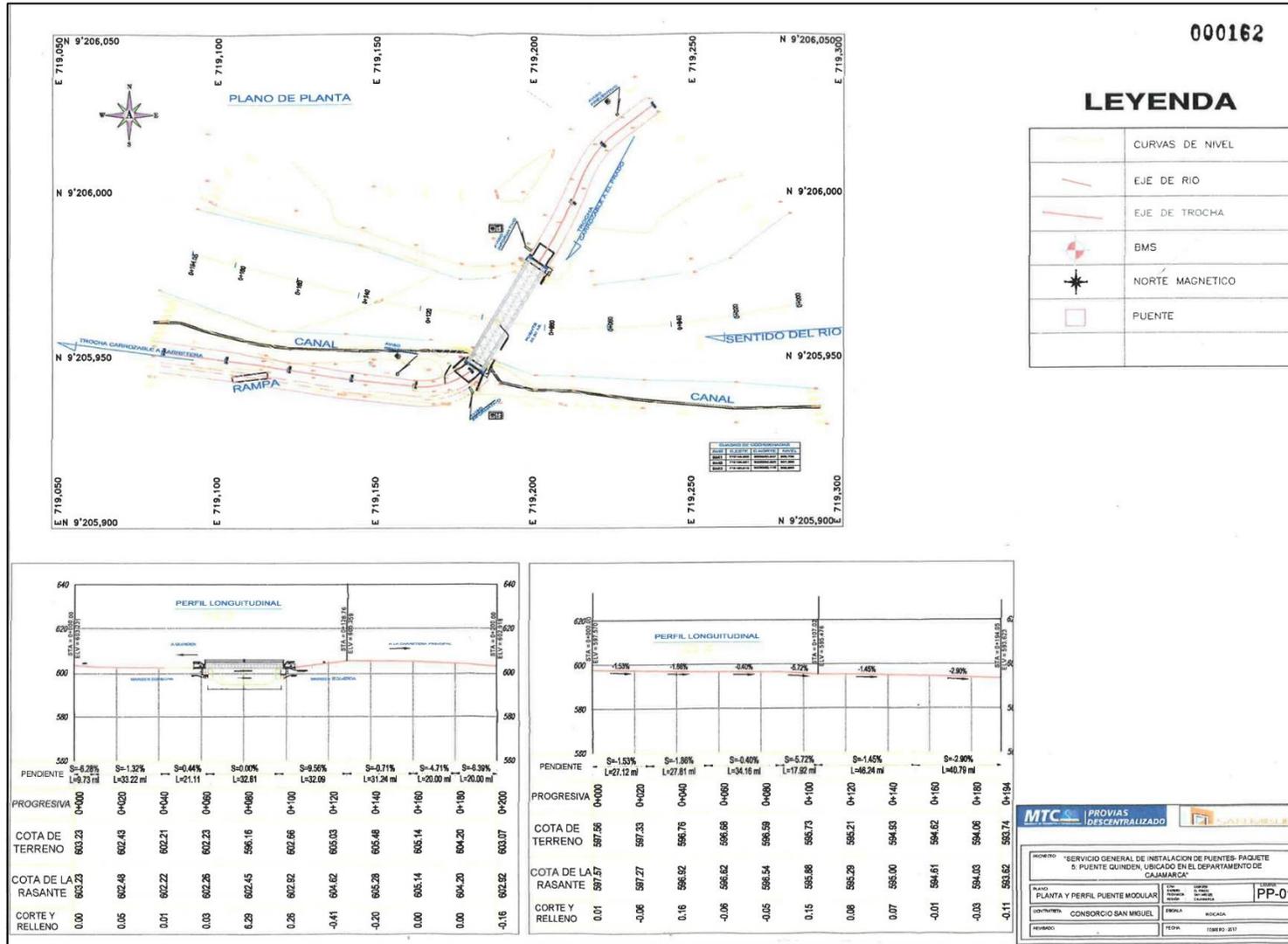


**GECON SAC**  
GEOTECNIA & CONSTRUCCIÓN S.A.C.

Ing. Jorge L. Quipuzcoa Urdanivia  
C.I.P/ 91018

Urb. Villa del Contador Mza. N - Lote 06  
Telf. Of. 044-250381 RPC: 993756247  
Movistar: 948180393 RPM: #948180393  
E-mail: geconsec\_laboratorio@hotmail.com

Anexo N° 12: Plano en planta y perfil del Puente Modular.



Fuente: Consorcio San Miguel (2017).

Huaylla Larrea, Alvaro Jose

Anexo N° 13: Puente Modular.

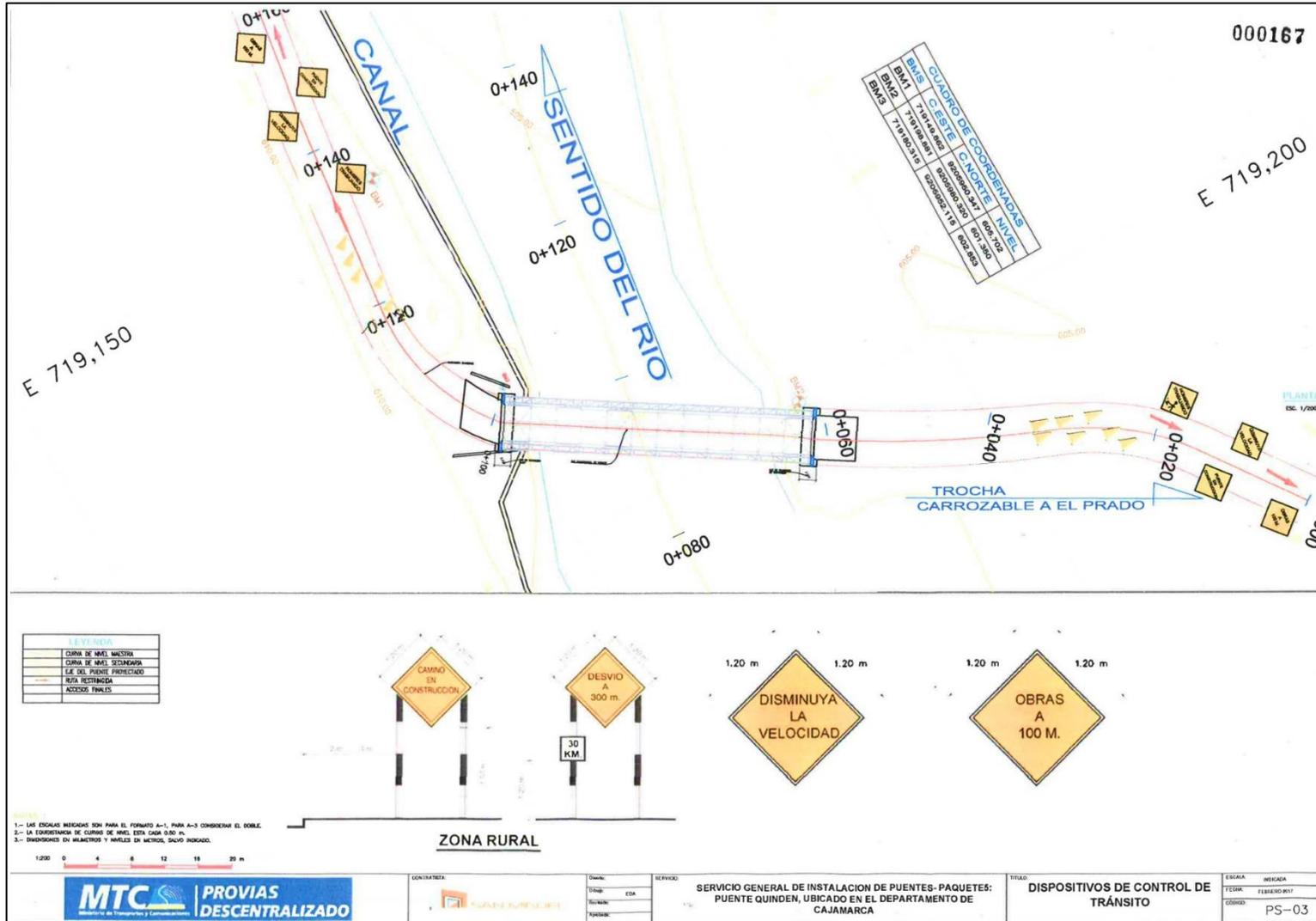
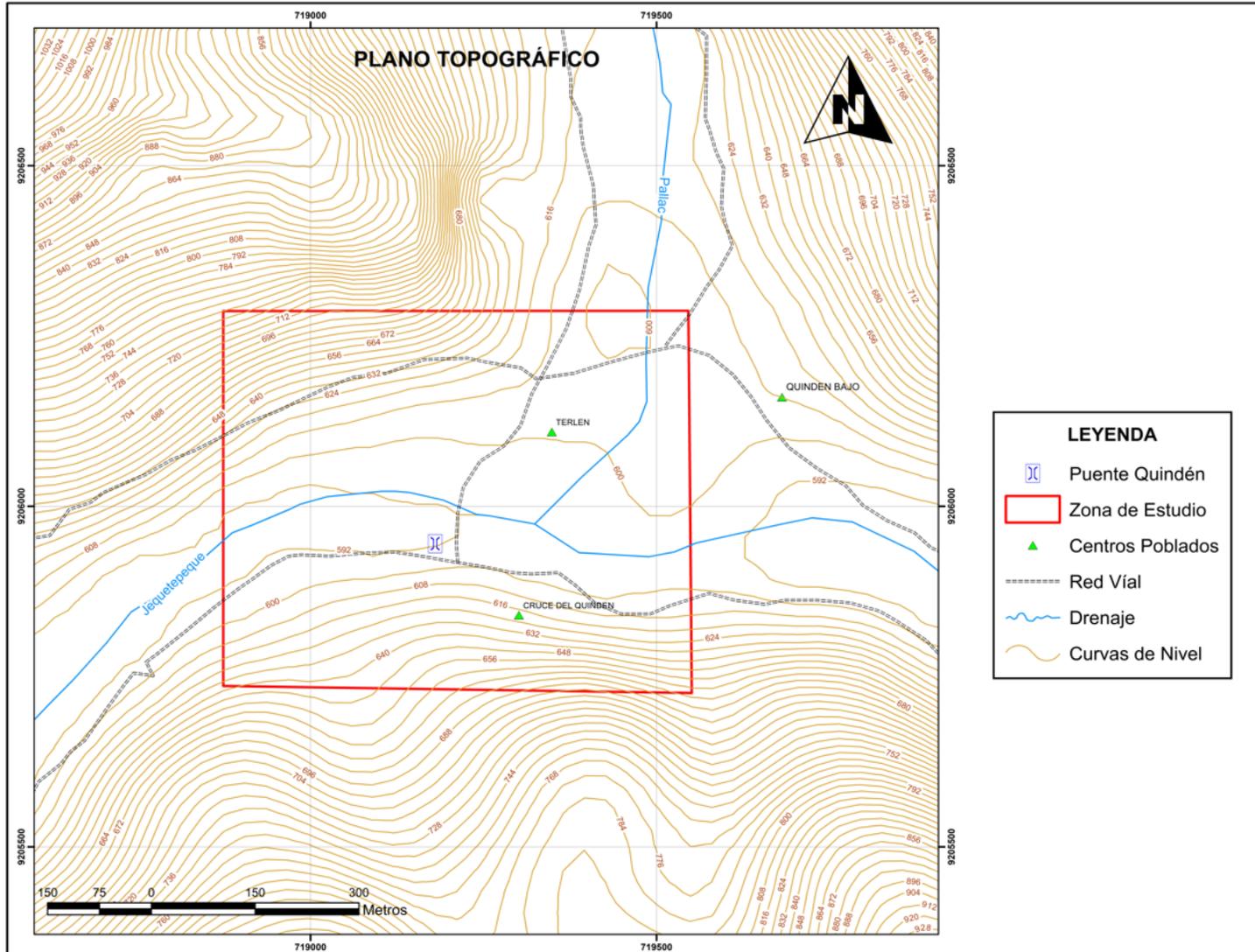


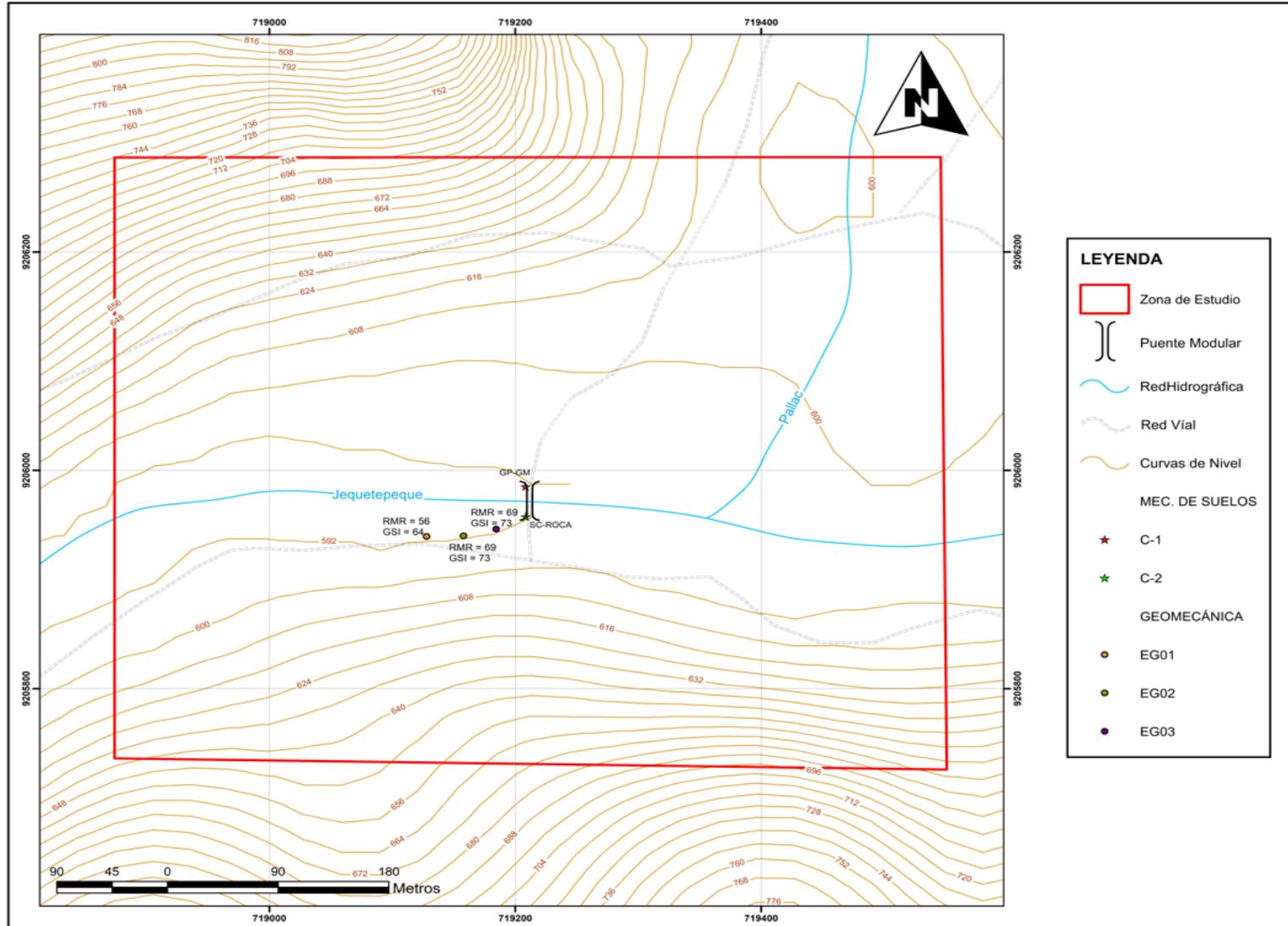
Figura 54. Puente Modular y sus dispositivos de control de tránsito. Fuente: Consorcio San Miguel (2017).

Anexo N° 14: Plano topográfico.



Fuente: Propia (2022).

Anexo N° 15: Plano geomecánico-geotécnico.



Fuente: Propia (2022).