

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



TESIS

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES,
DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO -
2023**

PRESENTADO POR:

Bach. Abel Ttito Puma
Bach. Hubert Chacón Campana

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

ASESOR:

Ing. Víctor Vidal Garate Góngora

**CUSCO - PERÚ
2024**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023

presentado por: Br. CHACON CAMPANA, HUBERT con DNI Nro.: 70330287 presentado por: Br. HITO PUMA, ABEL con DNI Nro.: 47962710 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 11 de Octubre de 2024


Firma
Post firma Orlando Serate Sorjor
Nro. de DNI 29390015
ORCID del Asesor 0000-0002-4296-6482

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:390701203

NOMBRE DEL TRABAJO

**Estudio Geológico Geotecnico para el me
joramiento de la Transitabilidad**

AUTOR

Chacón, H.-Ttito, A.

RECUENTO DE PALABRAS

49864 Words

RECUENTO DE CARACTERES

286373 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

244 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

40.7MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 10, 2024 11:15 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 10, 2024 11:18 AM GMT-5**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- Material bibliográfico
- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Coincidencia baja (menos de 14 palabras)



DEDICATORIA

A mis padres: Alejandro Chacón Muñoz y Virginia Campana Quispe, por haberme dado su apoyo incondicional en mi vida durante mi formación profesional, por inculcarme valores y principios para ser una persona de bien.

Hubert Chacón Campana

A mis padres: Rene Tito Auccapuma y Andrea Puma Huanca, a quienes debo la fuerza y el coraje para seguir adelante, les dedico con profundo agradecimiento este trabajo. Con el mismo afecto, dedico esta obra a mis hermanos, Verónica, Marco Antonio, por su constante apoyo y cariño. Extiendo también esta dedicatoria a mis familiares cercanos, cuyo respaldo ha sido invaluable, y a todas las personas que con su ayuda han hecho posible la realización de este proyecto.

Abel Tito Puma



AGRADECIMIENTO

A Dios: Por su infinita bondad y amor, por haberme concedido la vida y haberme acompañado a lo largo de mi carrera. A Él, quien ha sido mi luz en el camino, le agradezco por darme la sabiduría y fortaleza necesarias para alcanzar mis objetivos.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco: Por ser el pilar de mi formación académica y profesional, brindándome el conocimiento necesario para mi desarrollo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica: Por su dedicación en compartir sus conocimientos y experiencias, formando así a los futuros ingenieros.

Al Ingeniero Víctor Garate Góngora: Por su valiosa guía y orientación en la realización de este trabajo de tesis.



RESUMEN

La presente investigación titulada “**Estudio geológico y geotécnico para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular de la carretera Quellopuito – Lares, distrito de Lares, provincia de Calca, departamento del Cusco – 2023**” se planteó como principal objetivo mejorar la transitabilidad vehicular del tramo de Quellopuito a Lares, en el distrito de Lares, provincia de Calca, departamento de Cusco, mediante un estudio geológico y geotécnico detallado. La metodología del presente estudio se basa en un enfoque cuantitativo y mixto, combinando observaciones descriptivas con análisis estadísticos. El estudio es no experimental, utilizando ensayos y trabajos previos para caracterizar la geología y geotecnia de la zona de estudio. Se adopta un método descriptivo-explicativo para explicar las dimensiones y relaciones de variabilidad, y el diseño de investigación se centra en obtener conclusiones a partir de datos cualitativos y cuantitativos. Los resultados se interpretarán para mejorar la transitabilidad de la carretera entre Quellopuito y Lares. Las conclusiones del estudio resaltan la importancia del análisis geológico y geotécnico en la mejora de la carretera Quellopuito - Lares, identificando áreas críticas y validando la viabilidad del proyecto. La compatibilidad entre los rasgos geomorfológicos y el diseño propuesto garantiza soluciones eficientes y duraderas. Además, se han identificado canteras cercanas que optimizan los recursos y reducen costos. Las dificultades geológicas específicas, como fisuras en rocas volcánicas, se abordan con estrategias que aseguran la integridad estructural, mientras que los aportes geotécnicos ofrecen recomendaciones clave para la estabilidad de la vía.

Palabras Clave: Geología, Geotecnia, Transitabilidad vehicular.



ABSTRAC

The present research titled “**Geological and geotechnical study to improve the vehicular passability of the Quellopuito – Lares highway, Lares district, province of Calca, department of Cusco – 2023**” was aimed at improving the vehicular passability of the Quellopuito section. to Lares, in the district of Lares, province of Calca, department of Cusco, through a detailed geological and geotechnical study. The methodology of the present study is based on a quantitative and mixed approach, combining descriptive observations with statistical analysis. The study is non-experimental, using tests and previous work to characterize the geology and geotechnics of the study area. A descriptive-explanatory method is adopted to explain the dimensions and relationships of variability, and the research design focuses on obtaining conclusions from qualitative and quantitative data. The results will be interpreted to improve the passability of the road between Quellopuito and Lares. The conclusions of the study highlight the importance of geological and geotechnical analysis in the improvement of the Quellopuito - Lares highway, identifying critical areas and validating the viability of the project. The compatibility between the geomorphological features and the proposed design guarantees efficient and long-lasting solutions. In addition, nearby quarries have been identified that optimize resources and reduce costs. Specific geological difficulties, such as fissures in volcanic rocks, are addressed with strategies that ensure structural integrity, while geotechnical inputs provide key recommendations for track stability.

Keywords: Geology, Geotechnics, Vehicular transitability.



INTRODUCCION

El estado actual del tramo presenta una estructura de pavimento pobre y en deterioro con un asfaltado tipo Slurry, en consecuencia, de esto se está optando por hacer un estudio de prefactibilidad para el mejoramiento de la vía y que esta sea de 2 carriles, todo esto ante la necesidad y demanda de los pobladores del Centro Poblado de Lares.

En base a esto se tiene la finalidad de estudiar y evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas de la vía a mejora, existe la necesidad de realizar los estudios mencionados a detalle como el mapeo geológico y geotécnico y el análisis de los materiales que constituirán para este mejoramiento, así mismo realizar el reconocimiento de las distintas formaciones geológicas del substrato, reconocer las distintas unidades geomorfológicas a lo largo del eje de vía.

El presente estudio comprende una serie de disciplinas, tales como, Geología, Geomorfología, ensayos insitu y ensayos de laboratorio de Mecánica de Suelos, ensayos químicos, que debidamente correlacionadas y evaluadas, nos permitieran obtener la información necesaria para la evaluación y en consecución la elaboración del informe de estudio.

El presente estudio Geológico y Geotécnico se centrará en el análisis de las propiedades relevantes del suelo y la estructura del pavimento a lo largo del eje de vía, tratando de determinar los parámetros o el rango de variabilidad de estos que sean determinantes y optimas tanto en el diseño como en la construcción



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRAC	v
INTRODUCCION	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES	1
1.1. Ubicación	2
1.1.1. Ubicación política	2
1.1.2. Ubicación geográfica y UTM	2
1.2. Accesibilidad.....	2
1.3. Condición climática	4
1.4. Planteamiento del problema.....	4
1.4.1. Descripción del problema	4
1.5. Formulación del problema	6
1.5.1. Problema general	6
1.5.2. Problema específico	6
1.6. Variables de investigación	6
1.6.1. Variables dependientes	6
1.6.2. Variables independientes	6
1.7. Objetivos	7
1.7.1. Objetivos generales	7
1.7.2. Objetivos específicos	7



1.8. Hipótesis	8
1.8.1. Hipótesis general.....	8
1.8.2. Hipótesis específicas.....	8
1.9. Justificación	8
1.10. Marco Referencial – Teórico – Conceptual.....	8
1.10.1. Marco Referencial (Antecedentes)	8
1.10.2. Marco teórico.....	11
1.10.3. Marco conceptual.....	17
1.11. Metodología, materiales, equipos y etapas de la investigación.....	20
1.11.1. Metodología.....	20
1.11.2. Materiales y equipos	21
1.11.3. Etapas de investigación.....	22
CAPÍTULO II GEOMORFOLOGÍA	24
2.1. Aspectos generales.....	25
2.1.1. Modelo digital de elevaciones	25
2.1.2. Pendientes del terreno.....	25
2.2. Geomorfología regional.....	29
2.2.1. Altiplanicies.....	31
2.2.2. Cordillera oriental	32
2.2.3. Zona sub andina.....	36
2.3. Geomorfología local	36
2.3.1. Zonas fuertemente disectadas	36
2.3.2. Valle del rio lares.....	36
2.3.3. Valle de glaciares.....	38
2.3.4. Montañas.....	39



2.3.5. Laderas cordilleranas	40
CAPÍTULO III GEOLOGÍA.....	43
3.1. Aspectos generales.....	44
3.2. Geología regional.....	44
3.2.1. Paleozoico inferior	44
3.2.2. Mesozoico	47
3.2.3. Cenozoico (Cuaternario – Holoceno)	48
3.3. Geología Local.....	49
3.3.1. Grupo San Jose: Arenigiano – Llanviriniano (Om-Sj).....	50
3.3.2. Formacion Sandia: Carodiciano (Os-s).....	50
3.3.3. Formación Ananea: Siluro – Devoniano (SD-a).....	51
3.3.4. Formación Cabanillas Devoniano (D-ca)	51
3.3.5. Grupo Mitu Permico – triásico (Pst-mi)	52
3.3.6. Depositos Glaciares cuaternario – holocena (Qpl-mo).....	52
3.3.7. Deposito Fluvioglaciares Qh-fg.....	52
3.3.8. Depósitos Aluviales Cuaternario (Q-al).....	52
3.3.9. Depósitos Coluviales Cuaternario (Q-co).....	53
3.3.10. Depósitos Fluvioaluviales (Qh-fal).....	53
CAPÍTULO IV GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	54
4.1. Aspectos generales.....	55
4.2. Dominio intermedio	55
4.3. Pliegues	57
4.3.1. Anticlinal.....	57
4.4. Fallas	57
4.4.1. Fallas normales	57



4.4.2. Fallas inversas.....	57
4.4.3. Fallas inferidas.....	58
CAPÍTULO V GEODINAMICA.....	59
5.1. Aspectos generales.....	60
5.2. Geodinámica interna.....	66
5.2.1. Perfiles del suelo.....	72
5.2.2. Parámetros de sitio.....	73
5.3. Geodinámica externa.....	74
5.3.1. Meteorización Mecánica o Física.....	75
5.3.2. Meteorización química.....	76
5.3.3. Meteorización Biológica.....	77
5.3.4. Deslizamientos.....	77
5.3.5. Desprendimiento de masas.....	78
5.3.6. Desprendimiento de rocas.....	78
5.3.7. Flujo de detritos.....	78
5.4. Sectores identificados con problemas de geodinamica externa.....	79
5.4.1. Sectores criticos.....	79
5.4.2. Sectores comprometidos.....	83
5.4.3. Sectores vulnerables.....	87
CAPÍTULO VI HIDROLOGIA.....	92
6.1. Información meteorológica (estaciones).....	93
6.1.1. Estación meteorológica de Challabamba 100024.....	94
6.1.2. Estación meteorológica de Colquepata – 113116.....	95
6.1.3. Estación meteorológica de Quebrada Yanatile – 112154.....	96
6.1.4. Estación meteorológica de Pisac Código 100101.....	97



6.1.5. Estación meteorológica de Urubamba Código 113034.	98
6.2. Evaluación hidrológica	99
6.2.1. Cálculo de parámetros meteorológicos.....	99
6.2.2. Antecedentes de información meteorológica.....	99
6.2.3. Precipitación máxima en 24 hr.	100
6.3. Características de la cuenca.	108
6.3.1. Parámetros fisiográficos del kilómetro 0+00 al 32+116.....	108
6.3.2. Área de la cuenca general de la Carretera Quellopuito – Lares 32+116 km al 0+00 km. 110	
6.4. Parámetros geomorfológicos.	118
6.4.1. Pendiente de la cuenca	118
6.4.2. Pendiente del cauce principal.....	119
6.4.3. Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc).....	119
6.4.4. Factor de forma (Ff).....	122
6.5. Parámetros hidráulicos.....	123
6.5.1. Orden de las corrientes de agua.	123
6.5.2. Densidad de drenaje.....	123
6.5.3. Caudales aforados en los puentes de la carretera CU-1596.....	124
CAPÍTULO VII GEOTECNIA	127
7.1. Generalidades.....	128
7.1.1. Normatividad	129
7.1.2. Geotecnia de la vía.....	129
7.1.3. Metodología de investigación de campo y laboratorio	130
7.1.4. Diseño estructural del pavimento, determinacion de espesores.....	132
7.2. Estudio de la sub rasante.....	146



7.2.1. Prospección de campo.....	146
7.2.2. Calicatas.....	146
7.2.3. Muestreo	146
7.2.4. Registro De Calicatas.....	146
7.2.5. Trabajo de laboratorio.....	146
7.2.6. Geotecnia de obras de sostenimiento.....	147
7.2.7. Calicata o pozo de exploracion.....	147
7.2.8. Trabajos de laboratorio.....	147
7.2.9. Trabajos de campo	147
7.2.10. Calicatas de exploración	148
7.2.11. Muestreo y registro de exploración.....	150
7.2.12. Ensayos de laboratorio.....	151
7.2.13. CBR de la sub-rasante.....	152
7.2.14. Sectores de características homogéneas.....	152
7.2.15. Normas aplicadas al presente estudio de mecánica de suelos.....	160
7.2.16. Nivel freático	161
7.2.17. Estratos rocosos	162
7.2.18. Estabilización de suelos	162
7.3. Estudio de canteras	163
7.3.1. Ubicación de canteras	163
7.4. Características geotécnicas	167
7.5. Estabilidad de taludes	167
7.5.1. Aspectos generales.....	167
7.5.2. Falla por movimiento del cuerpo del talud	168
7.5.3. Métodos para mejorar la estabilidad de taludes.....	169



7.5.4.	Memoria de cálculo propuesto por dos métodos Bishop y metodo Jambu.	171
7.5.5.	Recomendaciones para la estabilidad de taludes en corte	195
7.5.6.	Factores preventivos y correctivos para evitar falla en el talud.	195
7.6.	Mecánica de rocas.....	196
7.6.1.	Pendiente.....	196
7.6.2.	zación del macizo rocoso	196
7.6.3.	Sistema de clasificación de geomecánica de macizos rocosos	197
7.6.4.	RQD	198
7.6.5.	RMR (Rock Mass Rating)	200
CAPÍTULO VIII IMPACTO AMBIENTAL.....		206
8.1.	Aspectos generales.....	207
8.1.1.	Objetivos.....	207
8.2.	Beneficiarios.....	208
8.2.1.	Población beneficiaria del distrito de Calca.....	208
8.2.2.	Población beneficiaria del distrito de lares	208
8.3.	Diagnóstico ambiental.	209
8.4.	Marco legal e institucional.....	209
8.5.	Descripción del proyecto.	210
8.6.	Área de influencia.....	210
8.7.	Evaluación de impacto ambiental.....	211
8.8.	Diagnóstico ambiental.	211
8.8.1.	La infraestructura y su entorno.	211
8.8.2.	Suelos y usos principales.	212
8.8.3.	Evaluación vegetal.....	212
8.8.4.	Evaluación climatológica.....	212



8.8.5. Características ecológicas.....	213
8.8.6. Características socio-culturales.....	213
8.8.7. medidas de mitigación.	213
8.9. Programa de educación ambiental para trabajadores y pobladores.	215
8.9.1. Objetivos:.....	215
8.9.2. Actividades:	215
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	218
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	222
ANEXOS	226



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación política de la zona de estudio.	2
Tabla 2: Coordenadas geográficas y UTM.	2
Tabla 3: Accesibilidad del área de estudio.	2
Tabla 4: Operacionalización de variables.	7
Tabla 5: Sistema unificado de clasificación de suelo	15
Tabla 6: Tipos de muestra y transporte.	17
Tabla 7: Factores de zona "Z"	69
Tabla 8: Factor de suelo "s"	73
Tabla 9: Periodos "TP" y "TL"	73
Tabla 10: Parámetros de Diseño	74
Tabla 11: Sector crítico N°1 Deslizamiento talud inferior (Socavamiento) - Base Plataforma. .	79
Tabla 12: Sector crítico N° 02: deslizamiento talud superior	81
Tabla 13: Sector vulnerables N° 01: suelo inestable posible deslizamiento de talud superior. ...	87
Tabla 14: Sector vulnerables n° 03: suelo inestable caída de derrubios de talud superior.	89
Tabla 15: Sector vulnerables n° 03: suelo inestable caída de derrubios de talud superior.	90
Tabla 16: Estaciones pluviométricas.	94
Tabla 17: Precipitación máxima en 24 hr. estación Challabamba.	100
Tabla 18: Precipitación máxima en 24 hr. estación Colquepata.	102
Tabla 19: Precipitación máxima en 24 hr. estación quebrada Yanatile.	104
Tabla 20: Precipitación máxima en 24 hr. estación Pisac.	105
Tabla 21: Precipitación máxima en 24 hr. estación Urubamba	107
Tabla 22: Perímetro de cuencas de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares.	114
Tabla 23: Ancho medio de cuenca de puentes carretera quellopuito – lares	114
Tabla 24: Altura media de las cuencas de puentes de la carretera de Quellopuito – Lares	118
Tabla 25: Pendiente de las cuencas de los puentes de la carretera de Quellopuito – Lares	119
Tabla 26: Pendiente de las cuencas de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares	119
Tabla 27: Valores de Kc que se debe asumir	120
Tabla 28: Indice de compacidad de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares	120
Tabla 29: Factor de forma de los puentes de la carretera de Quellopuito – Lares	122



Tabla 30: Densidad de drenaje de los puentes de la carretera Quellopuito - Lares	123
Tabla 31: Cálculo del Aforo en la Sección del Puente Pampacorral.	125
Tabla 32: Cálculo del Aforo en la Sección del Puente Quishuarani.....	126
Tabla 33: CBR mínimo para material de base.....	130
Tabla 34: CBR mínimo para material de subbase.	131
Tabla 35: Definiciones de Slurry SEAL.	132
Tabla 36: Definiciones Slurry SEAL en Sudamerica.	132
Tabla 37: Parámetros previos.....	133
Tabla 38: Modulo de resiliencia.	133
Tabla 39: Nivel de confiabilidad.	134
Tabla 40: Valores de coeficiente estadístico de desviación estandar normal.	135
Tabla 41: Índice de serviciabilidad inicial.....	136
Tabla 42: Índice de serviciabilidad final.....	137
Tabla 43: Coeficiente estructural para Slurry SEAL.	138
Tabla 44: Tabla de ensayo para CBR - capa de base.....	139
Tabla 45: Grafico para cálculo de CBR - capa de base.	140
Tabla 46: Coeficiente estructural y módulo de elasticidad para capa de base.....	141
Tabla 47: Ensayo para CBR – capa de subbase.....	142
Tabla 48: Grafico para cálculo de CBR – capa de subbase.....	143
Tabla 49: Coeficiente estructural y módulo de elasticidad para capa de subbase.	144
Tabla 50: Calidad de drenaje.	145
Tabla 51: Niveles de humedad cercano a saturación.	145
Tabla 52: Normativa para el muestreo de calicatas.	148
Tabla 53: Resumen de ubicación de Calicatas (Sistema UTM WGS84).	148
Tabla 54: Ensayos de Laboratorio y sus Normas Técnicas MTC y ASTM.	151
Tabla 55: Categorías de la Subrasante.....	152
Tabla 56: Clasificación de suelos según el tamaño de partículas	153
Tabla 57: Clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad.....	154
Tabla 58: Clasificación de suelos según el índice de grupo.	155
Tabla 59: Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS	156
Tabla 60: Clasificación de la Subrasante según el CBR.....	158



Tabla 61: Resultados finales de los ensayos realizados en laboratorio para las calicatas.	159
Tabla 62: Calicatas con presencia de Nivel freático.....	161
Tabla 63: Calicatas con Material Rocoso a nivel de Subrasante.	162
Tabla 64: Calicatas que requieren mejoramiento a nivel de Subrasante.	162
Tabla 65: Ensayos de laboratorio para Canteras de Subrasante.	165
Tabla 66: Ensayos de laboratorio de Dosificación para Subbase.	165
Tabla 67: Ensayos de laboratorio de Dosificación para Base.....	167
Tabla 68: Numero de juntas identificadas en las estaciones geomecánicas.	199
Tabla 69: Escala referencial del RQD.	200
Tabla 70: Resultados del RQD y calidad del macizo rocoso.....	200
Tabla 71: Clasificación RMR de Bieniawski.	202
Tabla 72: Clasificación RMR de la estación geomecánica 01.....	203
Tabla 73: Clasificación de la estación geomecánica 02.	204
Tabla 74: Resultado de la clasificación RMR de Bieniawski.....	205
Tabla 75: Resultado de las características geomecánicas.....	205
Tabla 76: Resumen de las etapas de construcción de obras preliminares y movimientos de tierras.	217

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la carretera Quellopuito - Lares.....	3
Figura 2: Límites de consistencia del suelo. (Adaptado de Das, 2001).....	16
Figura 3: Mapa topográfico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).....	26
Figura 4: Mapa de pendientes de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)	27
Figura 5: Inicio del área de Estudio – Sector Quellopuito.	29
Figura 6: Mapa geomorfológico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).	30



Figura 7: Mapa geológico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)..... 45

Figura 8: Columna estratigráfica Lares - Quellopuito – Cusco (Fuente: Elaboración Propia). .. 49

Figura 9: Mapa geoestructural de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).
 56

Figura 11: Mapa geodinámico 01 de la carretera de Quellopuito – Lares (Fuente: Elaboración Propia)..... 61

Figura 12: Mapa geodinámico 02 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)..... 62

Figura 13: Mapa geodinámico 03 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)..... 63

Figura 14: Mapa geodinámico 04 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)..... 64

Figura 15: Mapa geodinámico 05 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)..... 65

Figura 16: Zonificación sísmica del Perú (Fuente: Norma E-030 Diseño Sismoresistente)..... 68

Figura 17: Ubicación de estaciones meteorológicas y regionalización de información. (Fuente: Elaboración Propia) 93

Figura 18: Precipitación media mensual estación meteorológica de Challabamba (Fuente: SENAMHI-2000)..... 95

Figura 19: Precipitación acumulada mensual estación meteorológica Colquepata (Fuente: SENAMHI-2000)..... 96

Figura 20: Precipitación media mensual estación meteorológica de quebrada Yanatile (Fuente: SENAMHI-2000)..... 97

Figura 21: Precipitación media mensual estación meteorológica de quebrada Yanatile (Fuente: SENAMHI-2000)..... 98

Figura 22: Precipitación media mensual estación meteorológica de Urubamba. (Fuente: SENAMHI-2000)..... 99

Figura 23: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Challabamba (Fuente: SENAMHI-2000). 101



Figura 24: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Colquepata (Fuente: SENAMHI-2000).	103
Figura 25: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación quebrada Yanatile (Fuente: SENAMHI-2000).....	104
Figura 26: histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Pisac (Fuente: SENAMHI-2000).....	106
Figura 27: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Urubamba (Fuente: SENAMHI-2000).	108
Figura 28: Mapa hidrográfico de la carretera de Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).....	109
Figura 29: Delimitación de cuencas hidrográficas puente Pampa corral.	111
Figura 30: Delimitación de cuencas hidrográficas puente Quishuarani. (Fuente: Elaboración Propia).....	113
Figura 31: Curvas de nivel de la cuenca del puente Pampacorral (Fuente: Elaboración Propia)	115
Figura 32: Curva hipsométrica cuenca puente Pampacorral (Fuente: Elaboración Propia)	116
Figura 33: Curvas de nivel de la cuenca del puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia)	117
Figura 34: Curva hipsométrica cuenca puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia)	118
Figura 35: Parámetros fisiográficos de la cuenca puente Pampacorral(Fuente: Elaboración Propia).....	121
Figura 36: Parámetros fisiográficos de la cuenca puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia).....	122
Figura 37: Deslizamiento tipo rotacional la cual se tiene presente en la zona de estudio.....	169
Figura 38: Fuerzas actuantes en una dovela.	172
Figura 39: Talud inicial Km 00+320 a Km 00+345. Fuente: Elaboración Propia.	174
Figura 40: Detalle de construcción de muro seco en la progresiva Km 00+320 Km 00+345 (Fuente: Elaboración Propia)	175
Figura 41: Talud inicial Km 0+465 a Km 0+565. Fuente: Elaboración Propia.	176
Figura 42: Talud Estabilizado Km 00+465 a Km 00+565. Fuente: Elaboración Propia.	177
Figura 43: Talud Inicial Km 19+875 a Km 19+995. Fuente: Elaboración Propia.	178



Figura 44: Talud Estabilizado Km 19+875 a Km 19+995. Fuente: Elaboración Propia. 179

Figura 45: Talud Estabilizado Km 21+820 a Km 21+940. Fuente: Elaboración Propia. 181

Figura 46: Talud Inicial Km 27+240 a Km 27+270. Fuente: Elaboración Propia. 182

Figura 47: Talud Estabilizado Km 27+240 a Km 27+270. Fuente: Elaboración Propia. 183

Figura 48: Talud Inicial Km 27+440 a Km 27+500. Fuente: Elaboración Propia. 184

Figura 49: Talud Estabilizado 27+440 A Km 27+500. Fuente: Elaboración Propia. 185

Figura 50: Talud inicial Km 27+820 a Km 27+920. Fuente: Elaboración Propia. 186

Figura 51: Talud Estabilizado Km 27+820 a Km 27+920. Fuente: Elaboración Propia. 187

Figura 52: Talud Inicial Km 28+540 a Km 28+680. Fuente: Elaboración Propia. 188

Figura 53: Talud Inicial Km 28+540 a Km 28+680. 189

Figura 54: Talud Inicial Km 28+880 a Km 29+020. Fuente: Elaboración Propia. 190

Figura 55: Talud Estabilizado Km 28+880 a Km 29+020. Fuente: Elaboración Propia. 191

Figura 56: Talud Inicial Km 29+260 a Km 29+440. Fuente: Elaboración Propia. 192

Figura 57: Talud Estabilizado Km 29+260 a Km 29+440. Fuente: Elaboración Propia. 193

Figura 58: Talud Inicial Km 31+090 a Km 31+160. Fuente: Elaboración Propia. 194

Figura 59: Talud Estabilizado Km 31+090 a Km 31+160. Fuente: Elaboración Propia. 194

Figura 60: Identificación de juntas em el macizo rocoso para el RQD. 199

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1: Vista donde se aprecia picos y montañas en el valle de Lares. 37

Fotografía 2: Vista donde se aprecia el fondo de valle de Lares, valle juvenil en formación tipo “V”. 38

Fotografía 3: Vista del valle glaciar tipo “U” debido a la formación proveniente del deshielo de los glaciares. 38

Fotografía 4: Montañas altoandinas en el Sector del Abra de Lares. 40

Fotografía 5: Vista donde se aprecia el pie de montaña en el Km 04+500. 41

Fotografía 6: Vista de las laderas de montaña con depósitos coluviales provenientes de las partes altas. 41



Fotografía 7: Se aprecia deslizamiento de talud inferior de la plataforma mostrando grietas tensionales de coronación en el Km 00 +320 – Km 00+345.	81
Fotografía 8: Deslizamiento activo compuesto por material de cobertura limoarcillosa con clastos de rocas pizarras, dispuestas sobre afloramiento rocoso - Km 29+260 a Km 29+440.	82
Fotografía 9: Deslizamiento activo compuesto por material de cobertura limoarcillosa, apreciándose la inclinación de árboles - Km 29+260 A Km 29+440.	83
Fotografía 10: Zona susceptible a deslizamiento material de cobertura poca consolidación Km 01+770 a Km 01+940.	88
Fotografía 11: Vista panorámica del talud susceptible a deslizamiento, apreciándose los flijos de detritos provenientes de las partes altas Km 01+770 a Km 01+940.	89
Fotografía 12: Vista panorámica del talud susceptible a deslizamiento, apreciándose depósitos de materiales de cobertura, clastos sub angulosos de diferentes diámetros de pizarras provenientes de desprendimientos de rocas de los picos Km 02+240 a Km 02+480.	90
Fotografía 13: Flujo de detritos, en el tramo de la proveniente de la desintegración gradual al intemperismo de las montañas aledañas km 8+440 a km 8+770.	91
Fotografía 14: Vista del Puente Pampacorral durante la temporada seca, mostrando la sección del río con el cauce aforado.	125
Fotografía 15: Apertura de la Calicata 01 (Km 00+020).....	150
Fotografía 16: Apertura de Calicatas a lo largo de la vía para la evaluación de la Subrasante.	151
Fotografía 17: Determinación de Limite Liquido con la cuchara de Casagrande.....	154
Fotografía 18: Ensayo de CBR (compactación) en laboratorio	157
Fotografía 19: Cuerpo de deslizamiento talud inferior Km 00+320 Km 00+345.	174
Fotografía 20: Vista del deslizamiento, apreciándose canales surcos, y grietas tensionales Km 00+465 a Km 00+565.	176
Fotografía 21: Deslizamiento de talud antiguo activo presentando pequeños desmoronamientos.	178
Fotografía 22: Cuerpo de deslizamiento en actividad por sobresaturación y uso desmedido de material de préstamo cantera.	180
Fotografía 23: Talud Inicial Km 21+820 a Km 21+940. Fuente: Elaboración Propia.....	180



Fotografía 24: Desprendimiento de clastos de rocas provenientes de la parte superior del afloramiento rocoso.	182
Fotografía 25: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.	184
Fotografía 26: Desprendimiento de detritos sobre talud superior de vía.	186
Fotografía 27: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.	188
Fotografía 28: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.	190
Fotografía 29: Deslizamiento activo con la demarcación de las grietas de coronación y desprendimiento de bloques de material.	192
Fotografía 30: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.	193
Fotografía 31: Vista de la estación geomecánica 01	198
Fotografía 32: Vista de la estación geomecánica 02.	198



CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES



1.1. Ubicación

1.1.1. Ubicación política

La ubicación política de la carretera Quellopuito – Lares, se detalla en la tabla 1 y figura 1.

Tabla 1: *Ubicación política de la zona de estudio.*

Región	Cusco
Provincia	Calca
Distrito	Lares
Lugar	Quellopuito - Lares
Longitud	32+116 Km

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Ubicación geográfica y UTM

Las coordenadas geográficas y UTM de la carretera Quellopuito - Lares se encuentran detalladamente en la tabla 2.

Tabla 2: *Coordenadas geográficas y UTM.*

Coordenadas Geográfica y UTM						
Progresiva	Latitud	Longitud	Este	Norte	Altitud m.s.n.m	Zona
0+000	13°12'26.86"S	71°54'43.12"O	184363	8538088	4131	19L
32+116	13° 6'14.70"S	72° 2'37.06"O	820594	8549474	3205	18L

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Accesibilidad

Las principales vías de acceso a la carretera existente se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: *Accesibilidad del área de estudio.*

Vías de acceso	Distancia (Km)	Tiempo (Hrs)	Tipo de vía
Cusco – Pisac - Calca - Quellopuito	76 .0 km	1 h 58 min.	Asfaltada – Trocha Carrozable
Cusco – Poroy – Urubamba – Calca	96.3 km	2 h 29 min.	Asfaltada – Trocha Carrozable

Fuente: Elaboración propia.

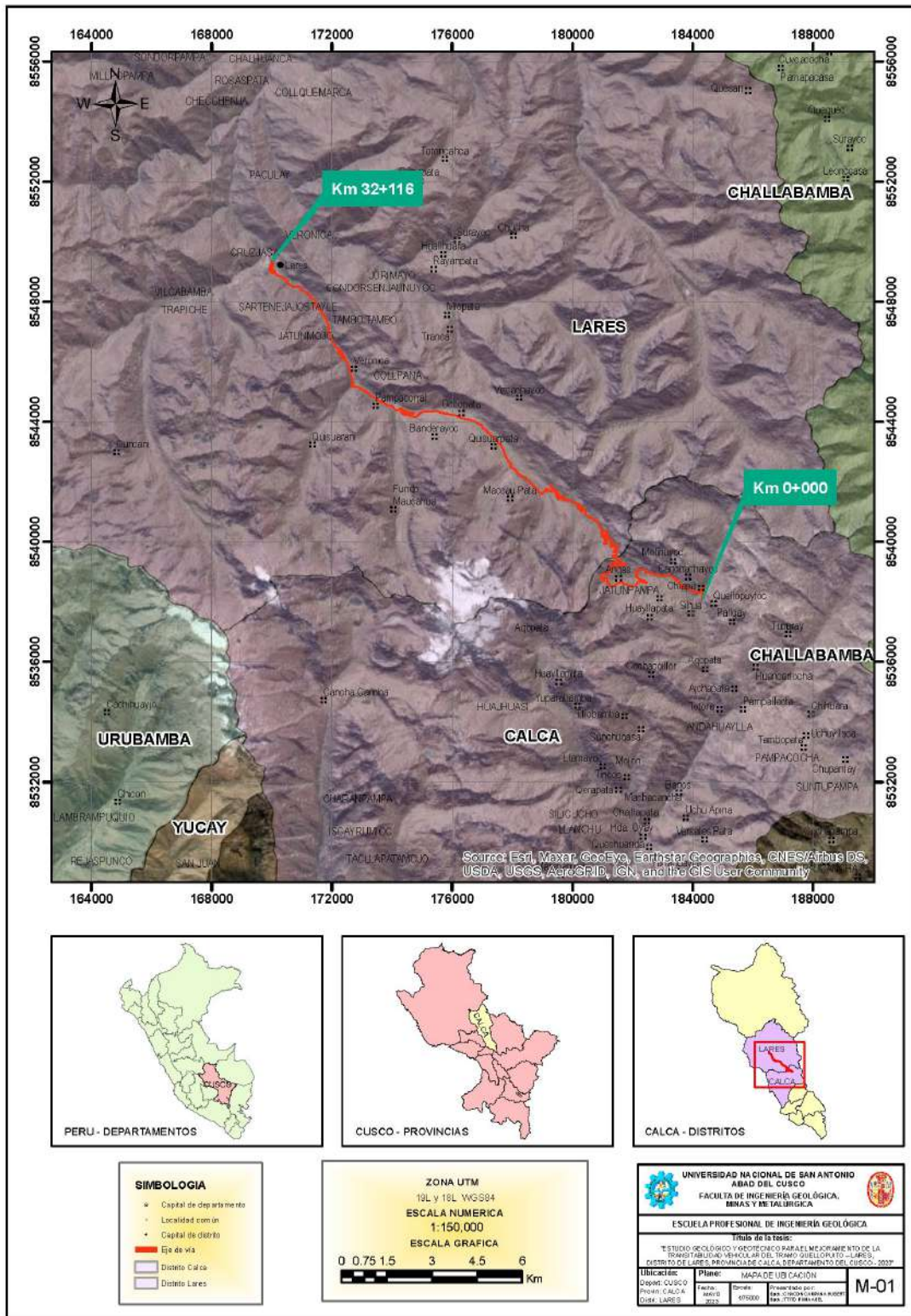


Figura 1: Ubicación geográfica de la carretera Quellopuito - Lares.

Fuente: Elaboración propia.



1.3. Condición climática

El estudio del clima en la provincia de Calca es viable por zonas naturales, basándose en los lugares más representativos. Las características uniformes de la topografía y la fisiografía a lo largo del territorio provincial generan climas poco diversos en los distintos niveles altitudinales. La configuración climática de la provincia está influenciada por grandes masas de aire provenientes de la selva suroriental, del altiplano e incluso de la distante Patagonia. Los vientos de la selva sur arrastran enormes masas de aire húmedo, impulsadas por los vientos alisios del este. Además, las condiciones geomorfológicas de la provincia producen condiciones meso climáticas y micro climáticas con variaciones espaciales y temporales.

Las condiciones atmosféricas que exhibe la provincia de Calca son uniformes en su caracterización, lo cual es de gran relevancia ya que el clima define el tipo de vegetación, las características del suelo, la disponibilidad del agua y la distribución de la población en el tiempo y el espacio. El estudio de las condiciones atmosféricas se llevó a cabo utilizando la información obtenida de las estaciones meteorológicas ubicadas en los alrededores de la provincia. Estos datos se presentan a través de resúmenes en tablas, gráficos y mapas. Los parámetros de temperatura, precipitación y evapotranspiración fueron analizados.

En términos generales, la provincia experimenta heladas intensas, con lluvias distribuidas en un periodo seco, con precipitaciones ocasionales entre abril y septiembre, y un periodo lluvioso con precipitaciones moderadas entre octubre y marzo. Estas características resultan en un bajo grado de favorabilidad para las actividades agrícolas y un nivel moderado de favorabilidad para las labores pecuarias.

1.4. Planteamiento del problema

1.4.1. Descripción del problema

A nivel global, la infraestructura vial ha sido reconocida como un componente esencial para el desarrollo económico y social de las naciones. Las carreteras adecuadas no solo facilitan el comercio y el transporte de bienes y personas, sino que también son cruciales para el acceso a servicios básicos como educación y salud (World Bank, 2021). En este contexto, numerosos países han invertido en mejorar sus redes viales, conscientes de que una infraestructura deficiente puede limitar el crecimiento y el bienestar de la población.



En el Perú, la situación de la infraestructura vial ha presentado retos significativos. A pesar de los esfuerzos del gobierno por mejorar las vías de comunicación, aún existen numerosos tramos carreteros en estado precario, especialmente en áreas rurales y de difícil acceso. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2022), aproximadamente el 30% de la red vial nacional se encontraba en estado regular o malo, afectando la conectividad y la calidad de vida de miles de peruanos. Este problema es particularmente crítico en la región andina, donde la topografía y las condiciones climáticas adversas complican aún más el mantenimiento y la mejora de las carreteras.

Específicamente, en la provincia de Calca, departamento de Cusco, el tramo de la carretera que conecta Quellopuito con Lares tiene una longitud de 32,116m. Actualmente, este tramo corresponde a un Camino Vecinal de Tipo 3, con un ancho promedio de 4.00 metros. Sin embargo, se busca una ampliación a 7.00 metros, que incluirá 6.00 metros de carpeta asfáltica y bermas de 0.50 metros a cada lado de la vía. Para ampliar la carretera se debe realizar nuevos cortes en los taludes de la carretera cuyas características geológicas se necesita conocer para correcto mejoramiento de transitabilidad del tramo de Quellopuito - Lares. Este tramo, vital para los pobladores locales, presentaba serios problemas de transitabilidad vehicular, especialmente durante la temporada de lluvias, cuando los deslizamientos de tierra y la erosión del suelo agravaban la situación (Gobierno Regional del Cusco, 2023). Estos problemas no solo dificultaban el transporte de productos agrícolas, esenciales para la economía local y turismo, sino que también aislaban a las comunidades, limitando su acceso a servicios básicos.

La presente tesis se enfocó en realizar un estudio geológico y geotécnico detallado para identificar las causas subyacentes de los problemas en el tramo Quellopuito-Lares y proponer soluciones técnicas adecuadas para su mejoramiento. Este enfoque fue esencial para garantizar una intervención efectiva y sostenible, que no solo mejorara la transitabilidad vehicular, sino que también contribuyera al desarrollo socioeconómico y turístico de la región.



1.5. Formulación del problema

1.5.1. *Problema general*

¿Cuáles son los parámetros Geológicos y Geotécnicos para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del tramo Quellopuito a Lares, distrito de Lares, provincia de Calca, departamento del Cusco?

1.5.2. *Problema específico*

1. ¿Cuáles son las características geológicas y geomorfológicas a lo largo del eje vial del tramo Quellopuito-Lares?
2. ¿Cuáles son los fenómenos de geodinámica externa que se presentan a lo largo del eje vial del tramo Quellopuito-Lares?
3. ¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de los suelos y las rocas presentes en el tramo de estudio Quellopuito-Lares?
4. ¿Cómo influyen los factores geomecánicos en el análisis de los taludes a lo largo del eje vial del tramo Quellopuito-Lares?
5. ¿Cuáles son las canteras disponibles que pueden ser utilizadas a lo largo del eje vial del tramo Quellopuito-Lares?

1.6. Variables de investigación

1.6.1. *Variables dependientes*

- Transitabilidad vehicular

1.6.2. *Variables independientes*

- Geología
- Geotecnia

A continuación, se muestra la tabla 4 que detalla la operación de variables usadas para la investigación de la presente tesis.



Tabla 4: Operacionalización de variables.

VARIABLE DEPENDIENTE:	VARIABLE INDEPENDIENTE:	DIMENSIONES	PARAMETROS	RESULTADO	
TRANSITABILIDAD VEHICULAR	GEOLOGIA	Geomorfología	Topografía	Mapa Topográfico	
			Pendientes	Mapa de pendientes	
				Mapa geomorfológico	
			Geología	Litología Estratigrafía	Mapa geológico
			Geología estructural	Fallas	Mapa geológico estructural
			Geodinámica	Diaclasas Geodinámica externa Geodinámica interna	Mapa geodinámico
			Prospección directa	Aperturas de calicatas Ensayos Insitu	Parámetros físicos mecánicos del terreno
			Geotecnia	Mecánica de suelos RQD y RMR	Mapa de Zonificación Geotécnica Caracterización del Macizo Rocoso
			Prospección indirecta	Análisis de taludes (Slide)	Estabilización de taludes

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Objetivos

1.7.1. *Objetivos generales*

Realizar un estudio Geológico y Geotécnico para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del tramo de Quellopuito a Lares, en el distrito de Lares, provincia de Calca, departamento de Cusco.

1.7.2. *Objetivos específicos*

- Identificar las características geológicas y geomorfológicas a lo largo del eje vía, tramo Quellopuito – Lares
- Identificar y describir los fenómenos de geodinámica externa a lo largo del eje vía, tramo Quellopuito – Lares
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos y las rocas que se encuentran en la zona de estudio, tramo Quellopuito – Lares



- Evaluar la influencia de los factores geomecánicos en el análisis de los taludes a lo largo del eje de vía
- Identificar cuáles son las canteras que pueden usarse a lo largo del eje de vía

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

El estudio geológico y geotécnico detallado permitirá el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del tramo de Quellopuito a Lares, en el distrito de Lares, provincia de Calca, departamento de Cusco.

1.8.2. Hipótesis específicas

- Las características geológicas y geomorfológicas son adecuadas para el mejoramiento del tramo Quellopuito – Lares.
- Las soluciones ante la geodinámica externa son favorables para el mejoramiento del tramo Quellopuito – Lares.
- Las propiedades físico-mecánicas de los suelos y las rocas influyen significativamente en el mejoramiento del tramo Quellopuito – Lares.
- Los factores geomecánicos afectan de manera crítica en el análisis y estabilidad de taludes a lo largo del eje de vía.
- Las canteras presentan óptimas condiciones para el mejoramiento de subrasante, dosificación de base y subbase a lo largo del eje de vía.

1.9. Justificación

El Centro Poblado de Lares, conocido por sus baños termales, atrae a numerosos turistas, lo que prioriza la necesidad de mejorar la carretera Quellopuito-Lares. Para llevar a cabo este mejoramiento, es necesario realizar algunos estudios geológicos y geotécnicos, incluyendo la geomorfología de la zona. Además, la evaluación de la mecánica de suelos y la geotecnia es fundamental para determinar las características geotécnicas de la vía y planificar de manera óptima el diseño y posteriormente la ejecución de la obra civil.

1.10. Marco Referencial – Teórico – Conceptual

1.10.1. Marco Referencial (Antecedentes)



1. **Ingemmet (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú). (s.f.).** Boletín n° 27r y 27s, geología del cuadrángulo de Urubamba hoja 27-r y Calca hoja 27-s, serie a, de la carta geológica nacional.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú, en su Boletín n° 27r y 27s, describe los aspectos geológicos del cuadrángulo de Urubamba y Calca, proporcionando información relevante para el entendimiento geológico de la zona de estudio, particularmente en relación con la estructura de las formaciones geológicas y las características litológicas que impactan el diseño geotécnico en el área (Ingemmet, s.f.).

2. **Puente, B. (2017).** Estudio geológico geotécnico para el mejoramiento de la carretera Calca – Machacancha – Quellopuyto tramo Km. 00+000 al 03+500 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En su tesis, Puente realizó un análisis detallado de los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para el mejoramiento de la carretera Calca – Machacancha – Quellopuyto. Este estudio incluyó la caracterización de los materiales del subsuelo y la evaluación de la estabilidad del terreno, factores esenciales para garantizar la transitabilidad vehicular en áreas complejas como el tramo en cuestión (Puente, 2017).

3. **Linares, A., & Veliz, J. (1979).** Estudios geológicos geotécnicos para diseño de carreteras, el ejemplo del valle de Lares en el departamento del Cuzco en Perú. Instituto de Investigaciones Geológicas.

Linares y Veliz realizaron estudios geológicos y geotécnicos en el valle de Lares, enfocados en el diseño de carreteras. Este trabajo aporta información clave sobre la mecánica de suelos y las condiciones geotécnicas de la región, sirviendo de referencia para proyectos viales en áreas geológicamente similares, como el tramo Quellopuyto-Lares (Linares & Veliz, 1979).



4. **Huaman, N., & Caballero, L. (2022).** Estudio geológico y geotécnico para la construcción de la presa Marhuay del distrito de Coya, Provincia de Calca, Cusco (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Este estudio geotécnico se enfocó en la construcción de la presa Marhuay en el distrito de Coya, proporcionando datos sobre la caracterización del suelo y los ensayos geotécnicos realizados. Aunque el contexto es diferente, los métodos aplicados y los resultados obtenidos ofrecen un marco comparativo útil para proyectos de infraestructura en la Provincia de Calca (Huaman & Caballero, 2022).

5. **Silva, H. (2016).** Análisis del recurso hídrico a partir de la disponibilidad y seguridad hídrica para el desarrollo rural sostenible del distrito de Lares, Cusco (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú.

Silva analizó los recursos hídricos en el distrito de Lares, y aunque su enfoque principal fue la gestión del agua, también incluyó estudios geológicos relacionados con la capacidad de almacenamiento subterráneo y la estabilidad de los suelos, lo que es relevante para el análisis geotécnico de proyectos viales en la región (Silva, 2016).

6. **Municipalidad Distrital de Lares. (2019).** Estudio de preinversión: Mejoramiento de los servicios educativos de la institución educativa de nivel primario I.E. N°50168 de la C.C. de Ccachin del Distrito de Lares, Provincia de Calca – Cusco.

Este estudio de preinversión, aunque enfocado en infraestructura educativa, también incluyó un análisis de las condiciones geológicas y geotécnicas de la zona, lo que es crucial para cualquier proyecto de infraestructura en el distrito de Lares, ya que la estabilidad de suelos y la resistencia del terreno son factores determinantes (Municipalidad Distrital de Lares, 2019).

7. **Ronald, L. (2008).** Estudio geológico y geomorfológico de la cuenca de Qochoq y Distrito de Calca, Provincia de Calca, Departamento del Cusco. PREDES.



Ronald realizó un estudio geológico y geomorfológico en la cuenca de Qochoq, que incluye la caracterización de suelos y el análisis de la geomorfología, ambos componentes fundamentales para la planificación de carreteras. Sus resultados ayudan a comprender mejor las condiciones geotécnicas de áreas cercanas al tramo Quellopuyto-Lares (Ronald, 2008).

8. **Carlos, B. (2011).** Evaluación de peligros geológicos en la microcuenca de Ccochoc, Provincia de Calca, Región de Cusco. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.

Carlos evaluó los peligros geológicos en la microcuenca de Ccochoc, proporcionando un análisis geotécnico enfocado en la identificación de zonas de riesgo por deslizamientos o inestabilidad del terreno, información crítica para el diseño de cualquier proyecto vial en la región (Carlos, 2011).

9. **Agustin, P. (2020).** Estudio geológico y geotécnico para la construcción, mejoramiento y rehabilitación de la carretera Cusco – Chinchero – Urubamba, en la Región del Cusco. PROVIAS NACIONAL.

En este estudio geotécnico, Agustin realizó un análisis detallado para la construcción, mejoramiento y rehabilitación de la carretera Cusco – Chinchero – Urubamba. Las metodologías empleadas para evaluar la capacidad portante de los suelos y la estabilidad de taludes son comparables a las que se pueden aplicar en el tramo Quellopuyto-Lares (Agustin, 2020).

10. **Americo, M. (2017).** Estudio geotécnico del sector de Accha Baja y la laguna de Pampacocha, Provincia de Calca, Departamento del Cusco. PREDES.

Americo realizó un estudio geotécnico en Accha Baja y Pampacocha, analizando la estabilidad de suelos y la resistencia mecánica, datos que sirven de referencia para proyectos viales en la Provincia de Calca, donde las condiciones geotécnicas presentan desafíos similares (Americo, 2017).

1.10.2. Marco teórico

1.10.2.1. Geología



1.10.2.1.1. Estructuras geológicas regionales

Las deformaciones se producen conforme a elementos como el calor y las presiones hidrostáticas en la medida en que se ejerce una fuerza. Así, las alteraciones estructurales en los bloques de roca crean formaciones geológicas específicas. Esto puede ser modelado para las características reológicas del macizo.

Se consideran como estructurales regionales las fallas y los mantos de deslizamiento, vistos como un nivel superior en geomorfología en comparación con una estructura local como pliegues, fracturas y unidades de desplazamiento. Hay diversos conceptos empleados por ingenieros geólogos y civiles al presentar un concepto e interpretar el origen de ciertos fenómenos vinculados a deformaciones mecánicas. En consecuencia, se asignan valores a las unidades geológicas para definir un único concepto terminológico. (Suárez, 2015).

1.10.2.2. Geotecnia

1.10.2.2.1. Clasificación de Bieniawski (1973, 1975, 1989)

Elaborada por Bieniawski en (1973), este método para llevar a cabo la descripción geomecánica de los macizos rocosos a partir de la información recogida en zonas o secciones de afloramientos y perforaciones que exhiban propiedades geológicas homogéneas. Se toman en cuenta los siguientes parámetros:

- La resistencia uniaxial
- Grado de fractura miento RQD
- Espaciado entre discontinuidades
- Condición de discontinuidades
- Condiciones hidrogeológicas
- Orientación de discontinuidades

La influencia de estos parámetros sobre el comportamiento geomecánico se expresa a través del índice de calidad del macizo rocoso RMR, que varía de 0 a 100. (De Vallejo y otros, 2002).

Para obtener el índice de RMR.

Primeramente, se segmenta en diversos dominios estructurales; para ello se definen áreas basadas en las discontinuidades, obteniendo así estructuras homogéneas. El macizo rocoso alberga formaciones geológicas como fallas, diaclasas y pliegues.



La clasificación RMR valora la calidad de un macizo rocoso a partir de criterios. (Ramírez & Monge, 2004).

1.10.2.2.2. Índice RQD

El RQD (Designación de Calidad de Roca) es muy valioso, pero presenta una considerable restricción al no considerar factores como rellenos, separación y otras condiciones de las discontinuidades. Por lo tanto, es imprescindible detallar de manera exhaustiva las propiedades de fracturación de los cuerpos rocosos en el terreno o durante sesiones de muestreo o perforación. (Palmstrøm, 1975).

El RQD en macizos rocosos se puede establecer a través de correlaciones basadas en la experiencia, como las de Palmstrom, (1975) (en ISRM, 1981) que se exponen posteriormente:

Donde S_i representa el intervalo promedio de cada grupo (I) de discontinuidades y J_v es la cantidad de discontinuidades por metro cúbico de macizo. Con base en el parámetro J_v se puede determinar el valor de RQD. (Palmstrøm, 1975).

$$J_v = \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_i}$$

$$RQD = 115 - 3.3J_v \text{ para } J_v > 4.5$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4.5$$

Donde:

$$J_v = \sum \frac{n^\circ \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud de medida}}$$

1.10.2.2.3. Descripción y clasificación de suelos

El material catalogado como suelos exhibe variados tamaños de partículas y composiciones químicas. Para ello, se proponen definiciones y sistemas de clasificación que utilicen un lenguaje común para las distintas disciplinas. Por esta razón, se establecieron cuatro categorías:



Las gravas tienen un tamaño de grano que oscila entre 10-8 cm y 2 mm, las arenas entre 2 mm y 0.060 mm, los limos presentan granos de entre 0.060 mm y 0.002 mm, mientras que las arcillas poseen tamaños inferiores a 0.002 mm. (De Vallejo y otros, 2002)

En 1948, durante la construcción del aeródromo por parte del cuerpo de ingenieros del ejército, se propuso el sistema unificado de clasificación de suelos, el cual se subdivide en dos grandes categorías. (Braja, 2013).

Los suelos de grano grueso, clasificados como gravas y arenas, contienen más del 50% del material retenido en el tamiz N° 200. Para identificarlos, se utilizan los prefijos G para gravas y S para arenas. (Braja, 2013).

Los suelos de grano fino se definen cuando más del 50% del material atraviesa el tamiz N°200. En este caso, se emplean los prefijos M para suelos limosos, C para suelos arcillosos y O para limos y arcillas orgánicas o suelos altamente orgánicos. (Braja, 2013).

La categorización también incluye otros signos para identificar la variación del material, como W para bien clasificado y P para pobremente clasificado. Además, para evaluar la plasticidad, se utilizan las designaciones L para baja plasticidad y H para alta plasticidad. (Braja, 2013).



Tabla 5: Sistema unificado de clasificación de suelo

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias Menos de 5% finos ^a	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GW GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos Más de 12% finos ^{a,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GM GC
		Arenas limpias Menos de 5% finos ^b	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$ $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SW SP
	Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Arenas con finos Más de 12% finos ^{b,d}	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) $PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SM SC
		Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico Orgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e Límite líquido: secado < 0.75; vea la figura 4.2; zona OL Límite líquido: no secado
	Suelos altamente orgánicos	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico Orgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2) Límite líquido: secado < 0.75; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado
Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: Manual de Carreteras MTC. (Ensayo de Materiales, 2016).

1.10.2.2.4. Consistencia del suelo

Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para determinar la consistencia del suelo basado en la absorción de agua que rodea las partículas de arcilla. Así, clasificó los finos según la variación del contenido de agua, observando que, con baja humedad, el suelo se comportaba como una sustancia dura y frágil, mientras que al añadirle demasiada agua, el suelo podía fluir como un líquido. Para esto, definió dos estados del suelo: plástico y líquido. El punto intermedio entre el estado semisólido y el estado plástico se considera el límite plástico, y el punto intermedio entre el estado plástico y el estado líquido se considera el límite líquido. (Braja, 2013).

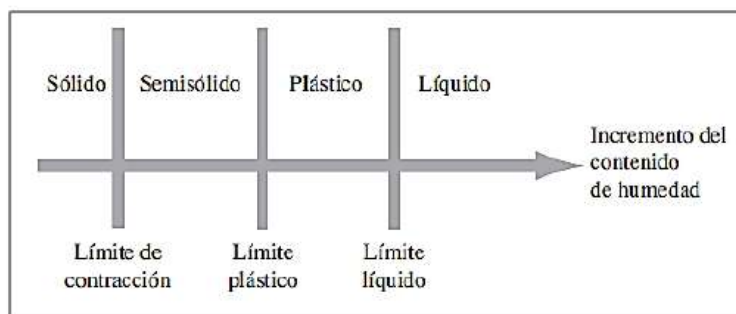


Figura 2: Límites de consistencia del suelo. (Adaptado de Das, 2001).

Límites líquido (Il): El ensayo según la norma ASTM D4318 describe un método para determinar el límite líquido a través de pruebas donde se añade suelo que ha pasado por la malla N° 40 con diferentes niveles de humedad. Previamente saturado, el material se coloca en la cuchara de Casagrande, se realiza una ranura de 12.7 mm, y se generan golpes hasta que dicha ranura se cierre en 25 golpes. Luego, se calcula el contenido de agua y se expresa en porcentaje. (Braja, 2013)

Límite plástico (Ip): Con el fin de establecer la cantidad de agua presente cuando el suelo se desintegra al formar hilos de 3.2 mm de grosor. Esta prueba está especificada en la norma ASTM D4318 y se lleva a cabo sobre una placa de vidrio esmerilado, haciendo rodar el suelo hasta alcanzar el diámetro mencionado anteriormente y conseguir que se quiebre. El contenido de humedad se calcula y se expresa en forma de porcentaje. (Braja M., 2013).

Índice de plasticidad (pi): Se toma en cuenta la variación entre el límite líquido y el límite plástico. (Braja, 2013).

1.10.2.2.5. Muestras geotécnicas:

Estas tomas de muestra se llevan a cabo en calicatas, perforaciones u otros tipos de excavaciones con el objetivo de conseguir testigos que reflejen las propiedades y características del terreno, y luego efectuar pruebas en el laboratorio. Son consideradas muestras inalteradas aquellas que no experimentan cambios en su estructura ni en su contenido de humedad; estas pueden ser extraídas en perforaciones y calicatas utilizando dispositivos de muestreo o tubos de pared fina. Las muestras alteradas muestran una modificación en su estructura y contenido de humedad, pero igualmente permiten la realización de pruebas en el laboratorio,



Tabla 6: Tipos de muestra y transporte.

TABLA N° 2.2.4				
TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 (ASTM D1587) Muestreo Geotécnico de Suelos con Tubo de Pared Delgada	Tubos de pared delgada		
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 (ASTM D4220) Prácticas Normalizadas para la Preservación y Transporte de Muestras de Suelos	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

Fuente: Manual de Carreteras MTC, (sección suelos y pavimentos, 2014).

1.10.3. Marco conceptual

Ensayos químicos: Medición cuantitativa de sulfatos disueltos en el agua.

Cohesión: Es la fuerza de atracción entre partículas, causada por las fuerzas moleculares y las capas de agua. Por lo tanto, la cohesión de un terreno variará si se modifica su contenido de humedad. La cohesión se mide en kg/cm². Los suelos arcillosos tienen una alta cohesión, que varía de 0,25 kg/cm² a 1,5 kg/cm² o más. Los suelos limosos presentan una cohesión muy baja, y en las arenas, la cohesión es inexistente. (Terzaghi, 1943).

Fricción, interna: Es la oposición al deslizamiento originado por la fricción existente entre las superficies de contacto de las partículas y su densidad. Dado que los suelos granulares poseen superficies de contacto más extensas y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan una buena interconexión, tendrán fricciones internas elevadas. Por



otro lado, los suelos finos tendrán fricciones internas reducidas, ya que no cuentan con partículas angulares ni uniformes.

La resistencia interna de un terreno se define por el ángulo cuyo valor tangencial representa la relación entre la fuerza que opone el deslizamiento a lo largo de un plano y la fuerza normal "p" aplicada a ese plano. Los valores de este ángulo, denominado "ángulo de resistencia interna", varían generalmente desde 0° para arcillas plásticas cuya consistencia está cercana a su límite líquido, hasta 45° o más para gravas y arenas secas compactas con partículas angulares. Por lo general, el ángulo "φ" para arenas es aproximadamente 30°. (Terzaghi, 1943)

Presión admisible del terreno: La presión máxima tolerable para un suelo de fundación, que garantiza la seguridad requerida para prevenir la fractura del terreno o el desplazamiento de los cimientos, se determina aplicando un factor de seguridad establecido por las regulaciones constructivas a la carga de fallo del suelo. (Vesić, 1973).

Coefficiente de seguridad: El coeficiente de seguridad (también llamado factor de seguridad) es la relación entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento real al que estará expuesto. Por lo tanto, es un número mayor que uno que indica la capacidad adicional del sistema sobre sus necesidades. En ingeniería, arquitectura y otras disciplinas técnicas, es común y a veces esencial que los cálculos para dimensionar elementos o componentes de maquinaria, estructuras, instalaciones o dispositivos en general incluyan un coeficiente de seguridad. Esto asegura que, ante posibles desviaciones de los requerimientos esperados, exista un margen adicional de rendimiento por encima de lo mínimo obligatoriamente necesario. (Bishop, 1955).

Estructura: Es la organización relativa de las partículas entre sí. En los suelos granulares, la estructura está determinada por la forma de las partículas, mientras que en los suelos de textura fina, depende del tipo de fuerzas predominantes. La estructura de los suelos también está influenciada por la mineralogía de su origen; la estructura del suelo varía según el tipo de roca de la que proviene (ígneas, sedimentaria o metamórfica). Cada tipo de suelo desintegrado por diversos agentes naturales tiene una configuración variada. (Terzaghi, 1943).

Núcleo impermeable: Es el componente de la presa que bloquea el valle para retener el agua acumulada en el embalse o depósito. (Juárez, 1961).



Name: Reducción del grado de agua, excepcional al máximo. Se refiere al aumento del agua en el recipiente cuando la represa está colmada y el desagüe opera a su plena potencia. Existen otros grados comunes en represas, tales como el de Name, niveles máximos normales, el nivel medio de funcionamiento, el mínimo de funcionamiento y el máximo de acumulación de sedimentos.

Namo: Reducción del grado de agua normal máximo es el aumento del líquido en el recipiente.

Nami: Reducción del nivel mínimo de agua es el aumento del líquido en el recipiente.

Taludes: Son las dos caras principales que delimitan el cuerpo de la represa: la anterior o de aguas arriba, que está en contacto con el líquido, y la exterior o de aguas abajo.

Superficie de falla: El término "superficie de falla" se emplea para aludir a una superficie considerada a lo largo de la cual puede suceder el deslizamiento o fractura de un talud. No obstante, este deslizamiento o fractura no sucede a lo largo de dichas superficies si el talud está diseñado de manera adecuada. Se asume que el factor de seguridad es uniforme en todos los puntos a lo largo de la superficie de falla; por ende, este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla. En caso de que ocurra la falla, los esfuerzos de corte serían idénticos en todos los puntos a lo largo de la superficie de falla.

La cimentación: Es la sección de la construcción de la presa por la cual se transfieren las cargas al suelo, incluyendo tanto las generadas por la presión del agua como las del peso propio de la edificación.

El aliviadero: Igualmente conocido como desbordadero hidráulico, es la estructura hidráulica por la que el agua excedente se derrama cuando la presa está colmada.

Depósitos glaciares: Son acumulaciones trasladadas y colocadas por el hielo. Están compuestos por till y morrenas. Su constitución es muy variable y la dispersión es extremadamente irregular. Los depósitos fluvio-glaciares incluyen fragmentos que van desde gravas grandes hasta arcillas; presentan cierta estratificación y su tamaño de grano disminuye con la distancia al frente glaciar. (Lambert, 1986).

Demanda: Es la cantidad de agua que requiere el sistema en cuestión. Cuando el río o la quebrada elegida como fuente de abastecimiento puede proporcionar el flujo necesario en algunos períodos, pero falla en otros, se realizan estudios hidrológicos adicionales de la fuente para determinar si la construcción de un embalse soluciona el problema. Como



resultado de estos estudios, se obtiene el volumen de almacenamiento necesario, que es el volumen que debe guardarse para satisfacer la demanda en todo momento. (Navarro, 2014).

Geotecnia: La geotecnia es la disciplina dedicada al análisis y resolución de los problemas de la ingeniería y del entorno ambiental generados por la interacción entre las actividades humanas y el medio geológico. El objetivo de la geotecnia es garantizar que los factores geológicos que influyen en las obras de ingeniería sean considerados e interpretados de manera correcta, así como prevenir o reducir los efectos de los riesgos geológicos. (De Vallejo y otros, 2002).

Slope/w: El Slope/w es un software de análisis de estabilidad de pendientes ampliamente utilizado en el campo de la geotecnia, el cual se fundamenta en la simulación de una superficie de potencial falla. Este programa es distribuido por la compañía Geo-slope International Ltd., ubicada en Calgary, Alberta.

Textura: Se refiere a la distribución por dimensiones de las partículas de un suelo. De acuerdo con la clasificación sugerida por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), el suelo se clasificará en función de su textura.

1.11. Metodología, materiales, equipos y etapas de la investigación

1.11.1. Metodología

La metodología adoptada abarca un enfoque cuantitativo que incluye la recopilación de datos: (antecedentes, medición numérica y análisis estadístico), luego se interpretará y se definirá las conclusiones y recomendaciones para el mejoramiento de la transitabilidad de la carretera tramo Quellopuito - Lares, (Hernández & Mendoza, 2018)

1.11.1.1. Tipos de investigación

No experimental: Se tomará como referencia ensayos y trabajos realizados anteriormente en diferentes lugares, a partir del cual se podrá caracterizar adecuadamente la geología y geotecnia del lugar de la zona de estudio.

1.11.1.2. Método de investigación

Descriptivo – Explicativo (Casual): Describir y explicar cada dimensión e indicar influentes en la relación de variabilidad.



1.11.1.3. Diseño de la investigación

Cualitativo – cuantitativo: Dar conclusiones concretas después del resultado obtenidos de las diferentes actividades a realizar con bases numéricas y de criterio ingenieril (enfoque mixto).

Descriptivo: A partir de la observación se describen las diferentes unidades geológicas (geomorfológicas, estructurales, litológicas).

Hipotético: A partir de estudios previos se formularon situaciones y condiciones a las que está expuesta la zona de estudio.

Analítico: De acuerdo con los datos obtenidos en diferentes ensayos realizados en laboratorio y campo se determinan las condiciones geológicas y geotécnicas reales.

1.11.2. Materiales y equipos

1.11.2.1. Materiales de trabajo

Materiales de gabinete

- Papeles
- Material de oficina
- Planos
- Pizarras

Materiales de campo

- Planos
- Escalas y reglas
- Rotuladores, bolígrafos y resaltadores
- Bolsas de muestreo
- Libretas de Campo

1.11.2.2. Equipos de trabajo

Equipos de gabinete

- Computadoras
- Impresoras
- Calculadoras
- Programas de procesamiento /ARCGISS, AUTOCAD, EXCEL)

Equipos de campo



- Dispositivo de navegación y ubicación
- Dispositivos electrónicos
- Instrumento de orientación
- Picota

1.11.3. Etapas de investigación

1.11.3.1. Procedimientos

Se han agrupado las actividades en total 5 etapas, los cuales se detallan a continuación.

Etapa 1: trabajo en pre – campo

- Recopilación de información bibliográfica. (físico y digital)
- Revisión de antecedentes de la zona de estudio. (físico y digital)
- Elaboración de mapas de pre-campo, mediante imágenes satelitales. (ARC GIS, Imágenes LANDSAT)
- Elaboración del mapa de ubicación, accesibilidad y topográfico.

Etapa 2: trabajo de campo

Trabajo de Campo 01

- Mapeo geológico.
- Mapeo geomorfológico
- Mapeo estructural.
- Elaboración de ventanas estructurales
- Caracterización Geomecánica de los macizos rocosos. (RMR)
- Determinación de puntos GPS. (GPS garmin etrex 10)

Trabajo de Campo 02

- Apertura de calicatas según, ntp 339.162 (mtc e-101)
- Levantamiento de perfil estratigráfico de las calicatas
- Tomar coordenadas GPS de las calicatas (GPS garmin etrex 10)
- Muestreo de calicatas (MTC E-101).

Etapa 3: trabajo de post - campo

Trabajo de Gabinete y laboratorio.

- Tarea de creación del mapa geológico local.



- Cartografía geomorfológica utilizando imágenes satelitales. (mediante imágenes LANDSAT)
- Elaboración de un mapa geomorfológico.
- Creación del mapa hidrológico a partir de imágenes satelitales y observaciones en campo.
- Análisis de las muestras de suelos y roca.
- Determinar la calidad de macizos rocosos (RMR)
- Elaboración de mapas finales (geológico, geotécnico, geomorfológico, geodinámico, estructural)
- Correlación de datos geológicos, geotécnicos.
- Análisis e interpretación de resultados de las muestras de rocas y suelos en laboratorio.
- Análisis de estabilidad de taludes mediante Software Slide 6.0
- Redacción del informe final de tesis. (análisis personal)



CAPÍTULO II GEOMORFOLOGÍA



2.1. Aspectos generales

En este capítulo se ha descrito la morfología tanto regional como local a lo largo de todo el tramo de la carretera, identificando las unidades geomorfológicas de las mesetas, la cordillera oriental y la zona subandina. Estas unidades han dado forma al terreno, teniendo en cuenta la ubicación geográfica situada entre dos grandes valles: el valle del río Vilcanota y el valle del río Mapacho, donde se encuentra el valle de Lares. Se ha determinado una diversidad de unidades geomorfológicas locales.

2.1.1. Modelo digital de elevaciones

La zona de estudio se distribuye sobre un relieve con elevaciones entre 3191 m.s.n.m y 4411 m.s.n.m mientras que en las zonas urbanas como el centro poblado de Pampacorral y el centro poblado de Lares se asientan sobre superficies con elevaciones entre 3669 m.s.n.m. y 3191 m.s.n.m. Las máximas elevaciones se ubican en la progresiva 08+130 aprox en el sector del Abra de Lares con una altitud de 4400 m.s.n.m. aproximadamente.

El sector de Maucau se ubica sobre relieves con una elevación entre los 3910 m.s.n.m, mientras que el sector de Pampacorral está entre los 3652 y 3632 m.s.n.m. y el centro poblado de Lares se encuentra con un relieve promedio de 3190 m.s.n.m. (fig. 3).

2.1.2. Pendientes del terreno

Para esta etapa se toma en cuenta el área de intervención que corresponde a las zonas influyentes dentro del eje de la vía, del estudio del mapa de inclinaciones se concluyó que el 33% del área tiene relieves con pendientes planas a levemente inclinadas, aproximadamente otro 33% muestra inclinaciones moderadas (5° - 15°), mientras que el 28% corresponde a zonas con pendientes pronunciadas a muy pronunciadas (15° - 45°). Las pendientes extremadamente empinadas ocupan solo el 6% y corresponden a los cauces de las quebradas y las laderas cercanas. (fig. 4).

2.1.2.1. Pendiente suave ($0 - 5^{\circ}$)

Se agrupan en las partes bajas de los valles presentes como resultado de la acción sedimentaria de los agentes erosivos que afectan estas pendientes; a menudo, también son utilizadas por grandes asentamientos poblacionales.

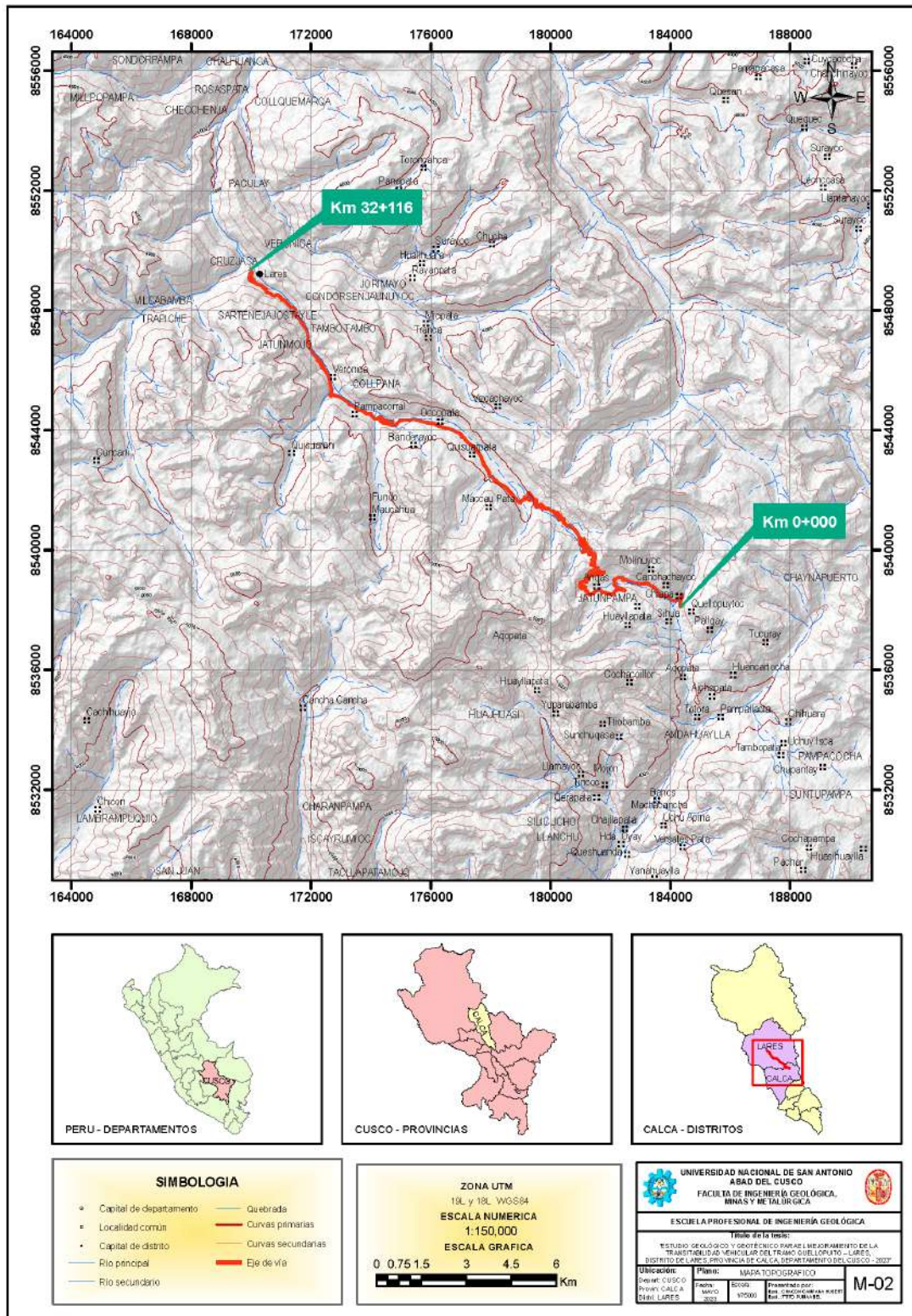


Figura 3: Mapa topográfico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)

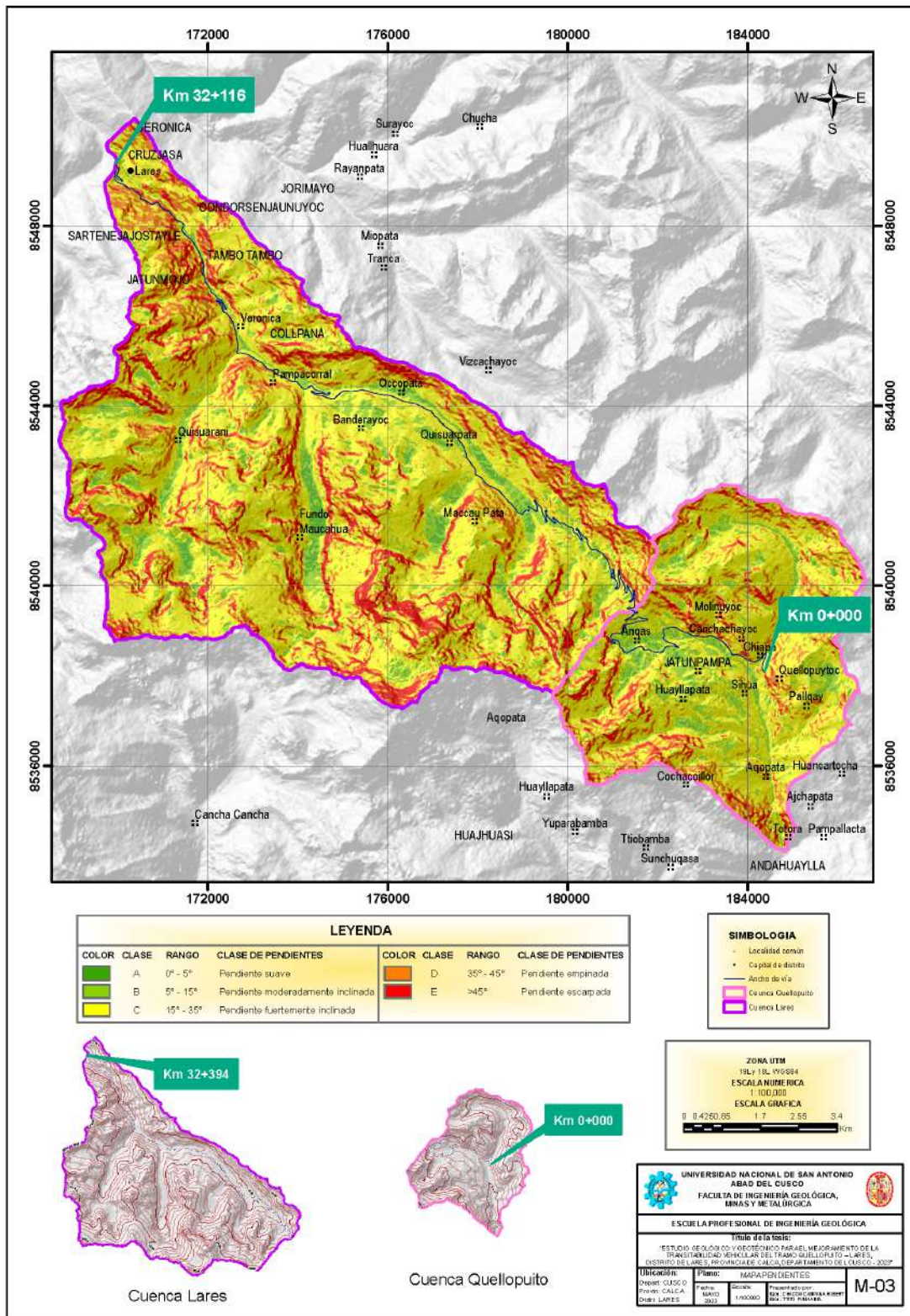


Figura 4: Mapa de pendientes de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)



2.1.2.2. Pendiente moderadamente inclinada (5° - 15°)

Están principalmente agrupados en las zonas bajas de los valles actuales debido a la acción sedimentaria de los agentes erosivos y los sistemas hídricos presentes en la provincia, como en el distrito de Lares con sus valles en el tramo en análisis.

Estas inclinaciones suelen ser utilizadas por grandes asentamientos de población y actividades agrícolas.

2.1.2.3. Pendiente fuertemente inclinada (15° - 35°)

Pueden ser usados por la actividad agrícola y se encuentran mayormente concentrados hacia las partes de alturas intermedias como consecuencia de la acción de los agentes erosivos y los sistemas hídricos tanto erosivos como sedimentarios, estas áreas suelen tener una buena cobertura vegetal en las zonas donde no se utilizan para la agricultura.

En las zonas de Puna se presenta en áreas cercanas a lagunas, en bofedales, en colinas, en fondos de valles maduros, en cabeceras de ríos y en vertientes moderadas de colinas y cerros de suave pendiente.

2.1.2.4. Pendiente empinada (35° - 45°)

Se encuentran ubicados en las zonas de altitud intermedia de la provincia, debido principalmente a la acción de los agentes erosivos y los sistemas hídricos, se observa una buena cobertura vegetal en áreas que no son destinadas a la agricultura, se le encuentra en zonas cercanas a lagunillas, en bofedales y fondos de valles de origen fluvio-glaciar y coluvio-aluvial.

2.1.2.5. Pendiente escarpada (>45°)

Se hallan principalmente agrupados en las zonas elevadas debido en gran medida a la acción de los agentes erosivos y los sistemas hídricos erosionales presentando una cobertura vegetal escasa, mayormente de bosque.



Figura 5: *Inicio del área de Estudio – Sector Quelloputo.*

2.2. Geomorfología regional

La morfogénesis de la zona de estudio está estrechamente relacionada con la formación de los Andes, formada por un conjunto de estructuras sobre las unidades morfotectónicas del flanco oriental de la Cordillera Oriental y la Faja Subandina, así como la llanura amazónica. Se identifican tres unidades morfoestructurales: las altiplanicies, la cordillera oriental y la zona subandina.

Su origen se clasifica de la siguiente manera: la primera es meso-cenozoica, compuesta por estructuras (rocas ígneas y sedimentarias) que reflejan una intensa actividad magmática y tectónica, evidenciada en sus características morfológicas actuales. La segunda, de origen paleozoico, está formada por afloramientos rocosos metamórficos, sedimentarios y plutónicos, donde se manifiesta la intensa acción de eventos tectónicos durante su formación. La Faja Subandina es una alineación colinosa que se desarrolló al pie del macizo andino oriental con una dirección E-O a finales del Terciario.

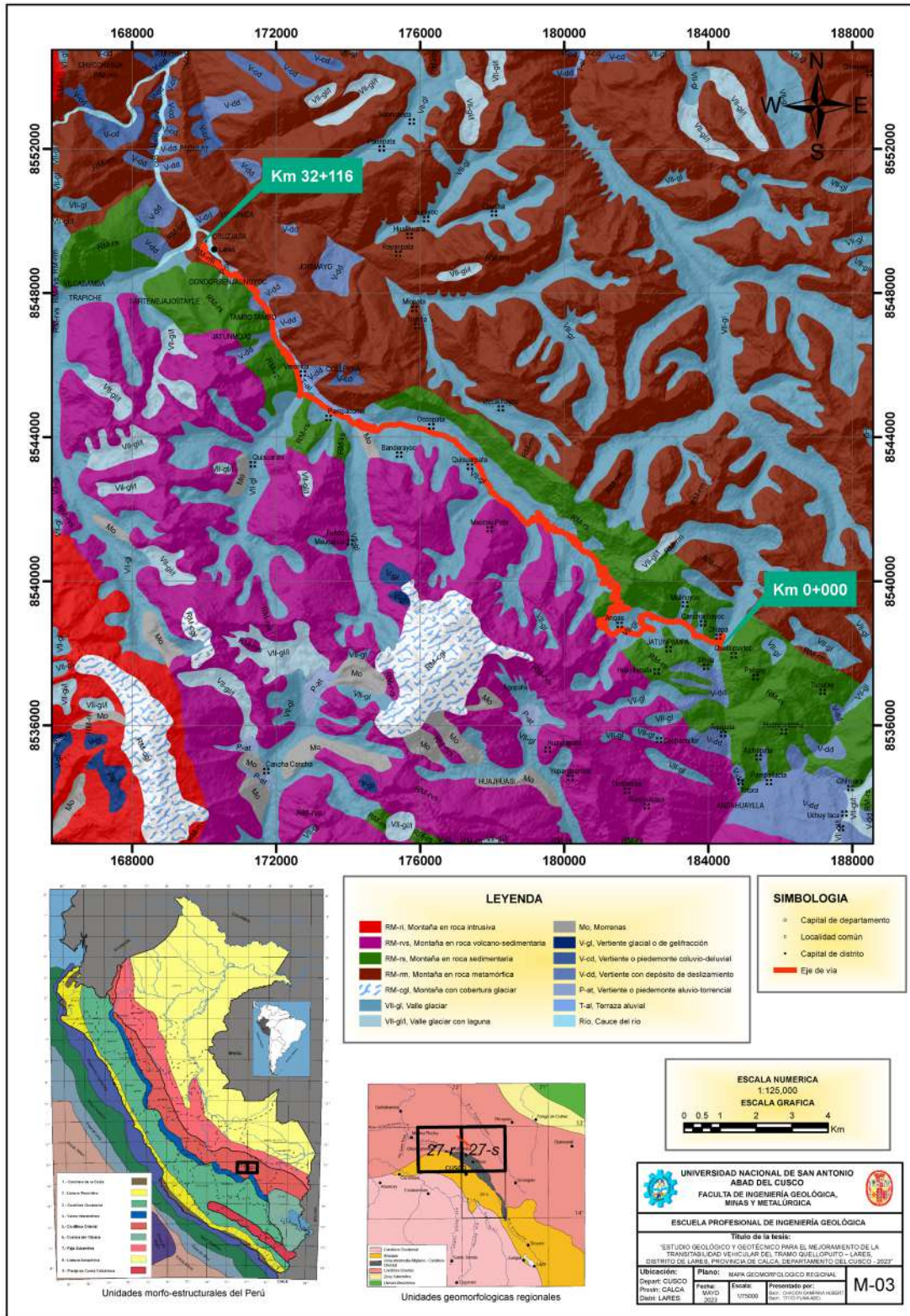


Figura 6: Mapa geomorfológico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).



2.2.1. Altiplanicies

Entre 4,200 y 4,300 metros sobre el nivel del mar, se presentan algunas cumbres que se extienden entre 4,200 y 4,400 metros sobre el nivel del mar. Las Altiplanicies están más desarrolladas al sur de la región de análisis (cuadrantes de Cotabambas y Cusco), mientras que en los Cuadrantes de Urubamba y Calca se encuentra su límite norte, el cual colinda con la Cordillera Oriental. El contorno es bastante irregular y se manifiesta a través de diversas formas geológicas. Se han identificado las siguientes formas geológicas: la Depresión de Anta, la Pampa de Maras, las Montañas de Cusco y la Depresión de Limatambo. Estas formas geológicas pueden estar separadas, en ciertos casos, por fallas NO-SE.

2.2.1.1. Meseta del Chinhaipujio

Conformado por el borde Norte de las Altiplanicies, forma un relieve gradual sobre una superficie de desgaste a una altitud de 4200 a 4300 metros sobre el nivel del mar, conocida como superficie puna, según descrito por Bowman (1916), y Mac Laughlin (1924).

Esta unidad está conformada por geo formas compuestas por conglomerados de la formación anta y rocas volcánicas desde sus bordes orientales a occidentales, en estas unidades afloran areniscas y lutitas del grupo San Jerónimo y rocas intrusivas del batolito de Andahuaylas – Yauri.

2.2.1.2. Depresión de Anta

Esta depresión es amplia en su parte central y angosta en los laterales con una longitud aprox. de 30km, y un ancho de 10km, de dirección ONO-ESE. Situado a los 3,300 y 3,400 msnm.

El material de esta depresión está conformado por material de relleno de la desintegración de lutitas y yesos del grupo Yuncaypata, intercaladas por conglomerados de la formación anta y cuerpos intrusivos y volcánicos shoshoníticos, (Cabrera J. , 1988).

2.2.1.3. Depresión de Limatambo

Constituye el límite occidental entre las altiplanicies y la cordillera oriental. Compuesta por escarpes de NE-SO, teniendo unas alturas que varían entre 3,600 y 2,400 msnm, compuestas por un sistema de fallas entre el grupo Yuncaypata y el Batolito de Andahuaylas – Yauri, sobre el grupo san Jerónimo.



2.2.1.4. Pampa de Piuray-Maras

Son relieves planos encontrándose por encima de la Depresión de Anta, variando entre 3,600 y 3,750 msnm.

Delimitada al norte con el río Urubamba por unas laderas escarpadas en la zona oriental, y una pendiente suave en el sector occidental. Por el este limita con las montañas del cusco por una falla N-S, con depósitos cuaternarias y al sur por la depresión de anta y al oeste limita con la montaña de huayanay a través del valle del río Huarucondo.

Compuesta por secuencias coticas de depósitos de bloques grandes de la formación chincheros de edad pliocena y por series fluvio lacustre del pleistoceno de la formación San Sebastián, como a su vez afloran lutitas, calizas y evaporitas del grupo Yuncaypata.

2.2.1.5. Mesetas del Saqsayhuaman

Esta meseta se sitúa entre los 3,600 y 3,800 msnm. Presentando afloramientos de lutitas, y lentes de calizas del grupo Yuncaypata y algunos cuerpos intrusivos pequeños del Cenozoico. La presencia de sedimentos finos hace que tenga un relieve plano, donde se denota claramente las calizas y los intrusivos, limitando al sur con la depresión de cusco, y al norte mediante la falla de Tambomachay con las montañas del cusco.

2.2.1.6. Montañas del Cusco

Son cadena de cumbres elevadas situadas al norte de las altiplanicies, limitan con la Cordillera Oriental. Dentro del Cuadrante de Urubamba, se encuentran en la sección oriental del cuadrante de Urubamba, extendiéndose hacia el cuadrante de Calca. Entre sus montañas destacadas están Sencca (4,423 msnm), Hatunluicho (4,482 msnm), Unoraqui (4,377 msnm) y Haynapicol (4,448 msnm). Estas montañas se formaron sobre areniscas y limonitas del Grupo San Jerónimo, las cuales están plegadas. Las Montañas del Cusco están separadas cerca de la laguna de Piuray por la extensión de la pampa de Piuray – Maras. El límite al norte es directamente con la Cordillera Oriental mediante una falla NO-SE, o a través de algunas mesetas intermedias. Su límite sur se encuentra con la meseta de Saqsayhuaman mediante la falla de Tambomachay.

2.2.2. Cordillera oriental



La cadena montañosa oriental es una de las formaciones que se encuentran a lo largo de toda la sección de la carretera. Esta cadena montañosa es una morfoestructura con una destacada presencia de fallas anticlinales y sinclinales con dirección NO.SE. Se eleva hasta los 6300 m.s.n.m. y a los 4,800 m.s.n.m., donde se produce la formación de glaciares, circos, valles en U y morrenas. Las rocas que emergen son rocas metamórficas del Paleozoico inferior, y rocas volcánicas del Grupo Mitú (Pérmico – Triásico), atravesadas por rocas intrusivas del Pérmico inferior. La intensa actividad tectónica se manifiesta en un metamorfismo con pliegues, fallas inversas y cabalgamientos.

2.2.2.1. Cadena de nevados

Cadena de nevados Huayanay – Pajjay: Ubicada al sur del río Urubamba, en el extremo occidental del cuadrángulo y está conformada por los nevados de Huayanay 5,308msnm, Cielo Rumiyoq 5,345 msnm, Moyoc 5,210 msnm, Chaquile 5,090 msnm, Ocobamba 5,126msnm, esquina 5,024 msnm, Paljay 5,125msnm. Conformada esta cadena por rocas intrusivas del batolito de Machupicchu rocas metamórficas del paleozoico inferior y presentando depósitos del Grupo Yuncaypata y depósitos del Grupo San Jerónimo.

Cadena de nevados de Pituisiray: Compreendida por la cadena de nevados los cuales tiene una dirección NO-SE, encontrándose al norte del río Urubamba y encontrándose conformada por los nevados de Chaiñapuerto, Pituisiray 5,100 msnm, Canchacanchajasa 4,984 msnm, Chicón 5,530 msnm, Sirihuani 5,399 msnm, Capacsaya 5,044 msnm, Pumahuanca 5,330 msnm, Halamcoma 5,367 msnm, Verónica 5,682 msnm, Huajayhuilca 5,361 msnm y el Bonanta 5,319 msnm.

Esta cadena de nevados se encuentra dividida en dos tramos, una al este entre los nevados Pituisiray y Pumahuanca, compuestas por rocas intrusivas y rocas volcánicas del grupo Mitú, presentando laderas empinadas. Y la otra cadena de nevados esta al oeste entre el nevado Alacoma y Bonanta, dispuesta sobre rocas paleozoicas, principalmente del ordoviciano desarrollando laderas bastante empinadas que formaron el cañón del Urubamba.

Cadena de nevados de Terijuay – Quilloc: Ubicado al extremo norte del cuadrángulo de Urubamba y se halla separada de la cadena de Chicon – Verónica, por una zona intermedia relativamente más baja. Está conformado por los nevados Terijuay (5,330 msnm) y Quilloc



(4,990 msnm) que están sobre rocas intrusivas. Estos nevados constituyen las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental.

2.2.2.2. Valles intercordilleranos

Los valles intercordilleranos son valles de formas alargadas de largas extensiones formados sobre la cordillera oriental, localidad entre montañas a lo largo de su recorrido dentro del área de estudio se tiene los valles del río Vilcanota y el valle del Paucartambo, encontrándose en el medio de ellos el valle de lares. Presentando erosión sobre rocas metamórficas e intrusivas del paleozoico formando valles profundos y con montañas empinadas a ligeramente empinadas. Dando la apariencia de ser valles maduros.

2.2.2.3. Valle del Vilcanota Urubamba

El valle del Vilcanota es un valle interandino, se puede segmentar en dos partes: la primera abarca desde San Salvador hasta Pachar, donde forma la frontera entre las Altiplanicies y la Cordillera Oriental; mientras que la segunda, que se extiende desde Pachar hasta Machu Picchu, atraviesa la Cordillera Oriental dividiendo la Cadena Huayanay-Paljay de la Cadena Verónica-Bonanta.

En la primera sección, el valle sigue una orientación principal de SSO a NNO. El comienzo del valle en los cuadrantes se sitúa a una elevación de 3,000 metros sobre el nivel del mar, con amplias terrazas, como las de Pisac, Lamay, Arín, Huarán, Huayllabamba y Yucay; correspondiendo a un valle extenso que en ciertos tramos supera los 1,000 m. sus vertientes son moderadas suaves a empinadas, observando conos aluviales en las quebradas más representativas como son Pumahuanca, Chicón, Calca.

En el segundo segmento, se encuentra a una elevación de 2,262 metros sobre el nivel del mar. Desde la localidad de Chilca hasta Santa Teresa (en el Cuadrante de Santa Teresa) se forma el Cañón de Urubamba, por donde el río atraviesa formaciones rocosas muy duras de la Formación Ollantaytambo y el Batolito de Machu Picchu. En esta área, las paredes del valle son escarpadas y altas. Los principales afluentes del río Urubamba incluyen los ríos Jochoc, Huaynapata, Carmen y Patacancha en el sector norte, mientras que en el sur están los ríos Pahuayoc, Huarocondo, Silque y Cusichaca, los cuales muestran un drenaje subparalelo. Los afluentes de estos ríos secundarios exhiben un drenaje dendrítico.

2.2.2.4. Valle del río Paucartambo



Desarrollado en la Cordillera Oriental, atravesándola en una dirección NO-SE. Con su morfología característica de piso algo plano y amplio. En las cabeceras de este valle, que resulta de la confluencia de los ríos Mapacho y Quencomayo, la morfología es más encajonada.

Las terrazas de este valle son relativamente extensas desde la localidad de Paucartambo, aunque hacia la zona superior tienden a desvanecerse. Estas terrazas están formadas por gravas en una matriz limo-arenosa. El valle de Paucartambo se encuentra entre los 2,900 y 2,600 metros sobre el nivel del mar, y se ha formado sobre pizarras y esquistos del Paleozoico inferior, a lo largo del eje de un anticlinal. El valle del río Paucartambo en el Cuadrante de Calca presenta una etapa juvenil en las cabeceras y se vuelve más maduro en la parte inferior.

2.2.2.5. Valle del río Lares

Ubicada en el extremo N-E del Cuadrángulo de Urubamba parte media, y el extremo N-O del cuadrángulo de calca, se distingue por mostrar una disposición general de NNO a SSE que cruza las rocas metamórficas del Paleozoico inferior. Todo esto está regulado por la litología y la tectónica, dado que sigue una trayectoria algo paralela a una falla NO-SE, corresponde a un valle de la vertiente oriental de los andes presentando una variedad de pisos morfológicos teniendo lagunas glaciares, quebradas sub tropicales, con los nevados dominantes del Verónica, Sawasiray, Pitusiray y el Chicon.

2.2.2.6. Valle del río Lucumayo

Se encuentra ubicado en el extremo N-O del Cuadrante de Urubamba, mostrando una disposición de SE-NO, Este valle está dominado principalmente por la tectónica y por la litología de las rocas metamórficas del Paleozoico más bajo y los dérmicoss.

2.2.2.7. Valle del río Ocobamba

Este valle se origina de la unión de los ríos Quelcanca, Yanamayo y Chulcuni, los cuales están determinados por la litología de la interfase entre rocas intrusivas y metamórficas y un sistema de fallamientos debido al cuerpo intrusivo. La dirección general de este valle es ESE a ONO.

2.2.2.8. Otros valles



Dentro de la Cordillera Oriental se hallan otros valles significativos (Yanatili, Kosñipata y otros), que la cruzan en una dirección algo paralela. La mayoría de estos valles son de tipo juvenil, con una pendiente pronunciada y una erosión intensa de su lecho, razón por la cual es común ver problemas de dinámica externa.

2.2.2.9. Meseta de Colquepata

Es una región con un relieve relativamente moderado en comparación con la Cordillera Oriental en sí. Exhibe colinas que son el resultado de la erosión glaciaria, creando una penillanura entre 4,000 y 4,300 metros sobre el nivel del mar. Esta meseta ha sido desgastada, dando lugar a quebradas como Quesqamayo, Quencomayo y otras, que la separan de áreas más elevadas.

2.2.3. Zona sub andina

Corresponde al pie de monte de los andes peruanos limitante con la cordillera oriental al Oeste y la llanura Amazónica al Este, esta zona sub andina se es característica por su transición bastante abrupta, con relieves empinados que van desde los 3,000 m.s.n.m. hasta los 1,800 m.s.n.m. comprendida a rocas metamórficas del paleozoico inferior y cuerpos intrusivos.

2.3. Geomorfología local

Dentro de la morfología local, debemos considerar la disposición de las estructuras presentes, donde la Cordillera Oriental tendrá una mayor preeminencia, así como la franja subandina correspondiente a las altiplanicies del Cusco, extendiéndose hacia las llanuras amazónicas en el sector NO del área de estudio, con rumbo hacia el valle de Yanatile, que comienza en el valle de Lares-Calca.

2.3.1. Zonas fuertemente disectadas

Esta área de investigación se distingue por su relieve altamente irregular, con montañas escarpadas y valles profundos formados sobre depósitos paleozoicos. Estos valles están en una etapa juvenil de formación.

2.3.2. Valle del río lares

Este valle predomina en el área de investigación, situado en la cordillera Oriental, en la región central hacia el oeste del cuadrante 27-s y en la zona centroeste del cuadrante 27-r al este, de la región estudiada, con una dirección de SE-NO. Este valle presenta características de un valle juvenil en formación tipo “V”, con pendientes pronunciadas y



pocas terrazas, hacia la localidad de Lares. Su formación se debe a la afluencia de los ríos tributarios de las quebradas, como Quebrada Quishuarani, Quebrada Pampacorral, Quebrada Ccanccao, Quebrada Huilcapuncocasa y Quebrada Llulluchayoc. En esta área, el valle está dominado por dos fallas inversas localizadas en el lado oeste y este del valle de Lares, ambas con una dirección SE-NO, y atravesadas por una falla normal a la altura del valle de Lares hacia el valle de Yanatile. Con una orientación de O-E, esta zona disectada por la falla representa un lugar de contacto entre las formaciones del grupo Cabanillas y el grupo Mitú.

Este valle está atravesado por diversas formaciones geológicas, mostrando areniscas y lutitas micáceas de tonalidades grises a negras del grupo Cabanillas, Grupo Mitú, Formación Ananea y Formación San José. Las terrazas de este valle son bastante extensas en la localidad de Quellopuito y en Pampa Corral, disminuyendo en tamaño hacia la localidad de Lares, dado que se trata de un valle juvenil.



Fotografía 1: *Vista donde se aprecia picos y montañas en el valle de Lares.*



Fotografía 2: *Vista donde se aprecia el fondo de valle de Lares, valle juvenil en formación tipo “V”.*

2.3.3. Valle de glaciares

Los Valles Glaciares están limitados a las regiones más elevadas del territorio, usualmente sobre los 3,900 metros sobre el nivel del mar. Se distinguen por formar cortes de laderas verticales, con una sección transversal en forma de U, que a menudo se encuentran en la parte superior con circos glaciares. Además, numerosos de estos valles presentan lagunas glaciares, retenidas por barreras naturales, y notables morrenas de los lados y delanteros.



Fotografía 3: *Vista del valle glaciar tipo “U” debido a la formación proveniente del deshielo de los glaciares.*



2.3.4. Montañas

Las montañas son un conjunto de series de picos elevados alineados sin distinción, con pendientes pronunciadas y la presencia de escarpes rocosos casi verticales, con laderas que superan los 500 metros de altura. Estas formaciones están compuestas por afloramientos de rocas metamórficas, pizarras de tonalidad gris a negra con esquistosidad, mostrando intercalaciones de afloramientos de cuarcitas metareniscas, así como depósitos de areniscas rojizas y capas de calizas y brechas volcánicas, que metamorfosearon otras formaciones del grupo Mitú. Pertenecen al pérmico-triásico del paleozoico.

La disposición de las montañas en la provincia de Calca – Distrito de Lares se atribuye a una transformación estructural ocasionada por la tectónica de subducción entre la placa continental y la placa de Nazca, comenzando con las montañas más elevadas que alcanzan los 5,800 metros sobre el nivel del mar (nevado Ausangate), con temperaturas de -10°C, y transicionando gradualmente hacia las montañas intermedias de la selva alta y selva baja, reflejándose todo esto en las vertientes montañosas.

2.3.4.1. Montañas rocas sedimentarias rm-rs

Corresponde a afloramientos de rocas perliticas constituidas por lutitas gris oscura y limonitas carbonáceas de afloramientos medianamente grueso, expuestos, intercalados con limonitas gris clara arcillas no calcáreas, todo esto comprendido en ambos flancos del valle de Lares montaña Chulluncunayoc, montaña Yanachuchca.

2.3.4.2. Montañas rocas metamórficas rm-rm

Corresponde a montañas compuestas por afloramiento de rocas metamórficas compuestas por pizarras grises intercaladas con limonitas presentándose como cuerpos empinados denudados por la erosión, con pendientes altas a moderadas.

2.3.4.3. Montañas de rocas volcánico rm – rvs

Son montañas que se presentan en la margen Izquierda del valle de lares aguas abajo compuesta por depósitos de roca volcánica sedimentaria e intercalaciones de roca arenisca sedimentaria color rojizo. Presentando picos altos correspondientes a los picos de los nevados Pitusiray, Chicon, Verónica.



Fotografía 4: Montañas altoandinas en el Sector del Abra de Lares.

2.3.5. Laderas cordilleranas

Este tipo de topografía se distingue por tener laderas con pendientes moderadamente inclinadas y valles profundos. En conjunto, presenta una inclinación y se observa una agrupación de colinas bajas con una notable uniformidad. En esta unidad, se pueden notar deslizamientos de tierras, y litológicamente está formada por depósitos conglomerados de gravas limosas y arcillosas, principalmente de origen coluvial.

2.3.5.1. Vertiente o piedemonte con depósito de deslizamiento –(V-dd)

Acumulaciones de pendientes formadas por procesos de desplazamientos en masa (derrumbes y caídas y rocas) prehistóricos, antiguos y recientes, por acumulación de sustancias finas y detritales, caídas o arrastradas por la escorrentía superficial, las cuales se amontonan sucesivamente al pie de las laderas, estos pueden ser del tipo deslizamientos, avalanchas de rocas y/o movimientos complejos. Es importante destacar que su composición litológica tiende a ser uniforme con materiales no consolidados a moderadamente solidificado.

En la zona de estudio estas unidades geomorfológicas se encuentran ubicadas a partir de la progresiva 25+000 hasta la 30+000 en diferentes puntos a lo largo de este tramo de 5 km.



Fotografía 5: *Vista donde se aprecia el pie de montaña en el Km 04+500.*



Fotografía 6: *Vista de las laderas de montaña con depósitos coluviales provenientes de las partes altas.*

2.3.5.2. Morrenas – (Mo)

Es la aglomeración de sedimentos y material trasladado por un glaciar, usualmente una mezcla heterogénea de rocas, piedras y arena que habitualmente se forma a partir de los fragmentos que descienden sobre el hielo del glaciar desde las laderas. Las morrenas internas se componen de materiales movidos dentro de la masa de hielo provenientes del exterior, que han caído en la zona de sedimentación donde se cubren con nieve y acaban hundiéndose con ella.

En la zona de estudio esta unidad geomorfológica se encuentra ubicada en la progresiva 22+000 aproximadamente cerca de la comunidad de Pampacorral.

2.3.5.3. Vertiente o Piedemonte coluvio deluvial (V-cd)



Son formaciones compuestas por la acumulación alternante de materiales de origen coluvial y deluvial que suelen encontrarse intercalados. Presentan una inclinación moderada (5° - 15°) y, desde un punto de vista geodinámico, este tipo de depósitos puede asociarse a la presencia de ciertos movimientos en masa complejos, deslizamientos y flujos de escombros.

Respecto a la zona de estudio esta unidad geomorfológica se encuentra ubicada a lo largo de la Progresiva 24+000 y 25+000.

2.3.5.4. Terraza Aluvial – (T-al)

Esta unidad geomorfológica presenta un origen denudacional y/o depositacional, de manera que presenta la formación de bancos o graderías de sedimentación aluvial ubicadas a lo largo de los márgenes de las quebradas, con respecto a nuestra zona de estudio esa geoforma se encuentra a lo largo del Km 22 al Km 29 del eje de vía.

2.3.5.5. Vertiente o Piedemonte aluvio torrencial (P-at)

Son el efecto de la reunión de materiales trasladados, comúnmente en forma de flujos de escombros (huaicos), alteran localmente la dirección de los cauces de ríos y se sitúan en las bocas de quebradas dirigidos a los ríos principales.

Esta unidad geomorfológica se puede llegar a evidenciar en las quebradas cerca al centro poblado de Lares entre las progresivas 30+000 y 31+000 a lo largo del eje de vía.



CAPÍTULO III GEOLOGÍA



3.1. Aspectos generales

En este capítulo describiremos las unidades estratigráficas litológicamente presentes en la región de investigación, basándonos en un análisis litológico y de materiales recientes según sus características físicas y cómo se encuentran organizados en la naturaleza. En el área de estudio, la geología comienza en el Paleozoico Inferior, continúa en el Mesozoico y toma su forma final en el Cenozoico - Cuaternario con depósitos coluviales desordenados.

3.2. Geología regional

En el campo de la geología, en cuanto a sus unidades estratigráficas o litostratigráficas a nivel regional, se toman en cuenta las formaciones más significativas, desde las exposiciones rocosas que abarcan desde el Cámbrico hasta el Cuaternario, ubicadas en el cuadrángulo 27-S y el cuadrángulo 27-r.

3.2.1. Paleozoico inferior

Las facies de los terrenos del Paleozoico inferior en nuestra zona son parecidas a las de la cuenca de sedimentación paleozoica Argentino - Peruana, de las cuales forman la extensión norteña (Mégard y otros, 1971); en particular, las facies del Paleozoico cuzqueño son prácticamente iguales a las del sur de Perú (Laubacher, El Paleozoico inferior de la Cordillera Oriental del sureste de Perú., 1974). Se debe al fuerte tectonismo herciniano y, sobre todo, al fallamiento post-herciniano, es imposible observar una sección continua del Paleozoico inferior. Se puede observar a lo largo de la carretera Ollantaytambo-Chcrullay (serie ordoviciana) y de la carretera Calca - Amparaes (Siluro-Devoniano y parte del Ordoviciano).

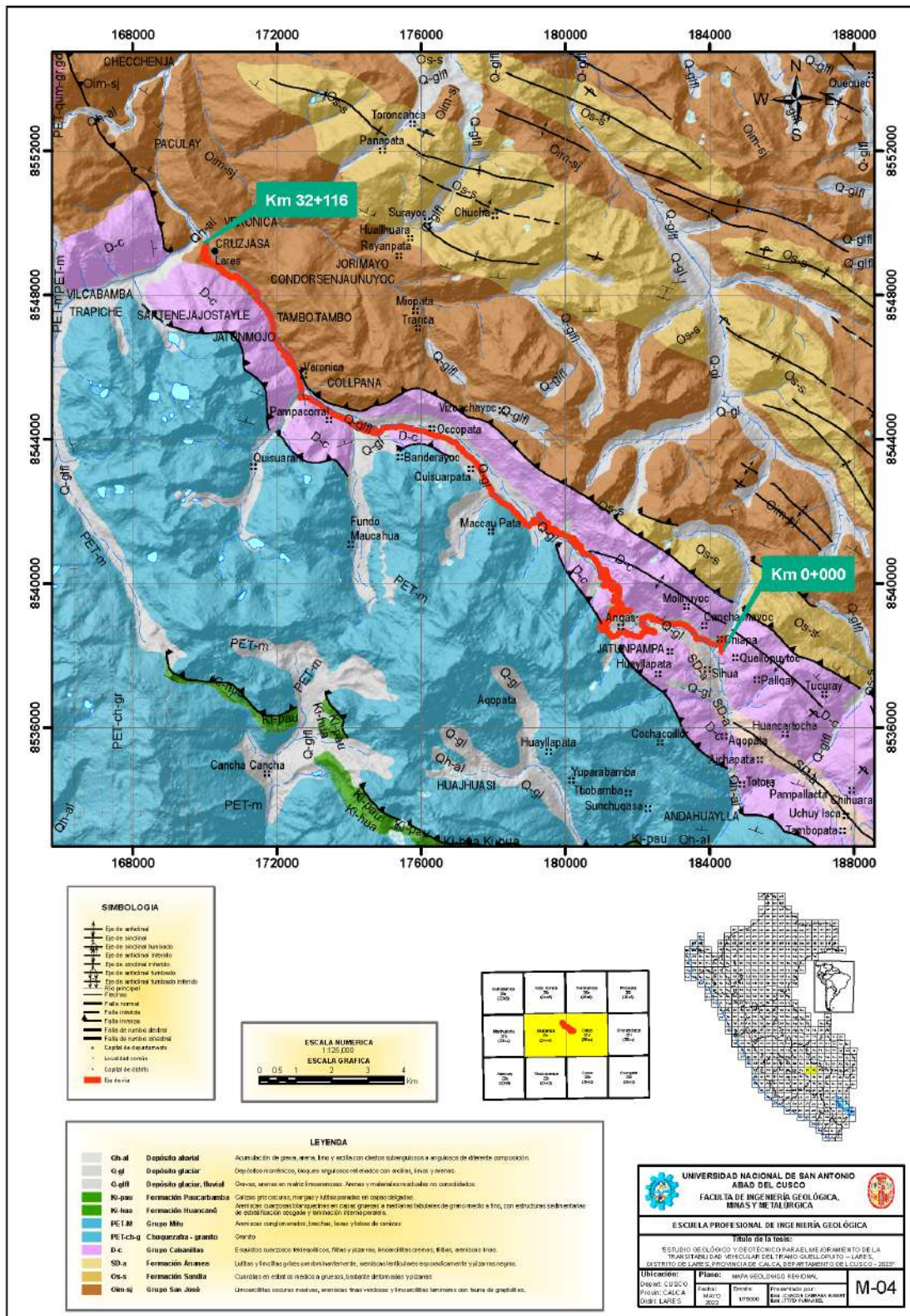


Figura 7: Mapa geológico regional de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)



3.2.1.1. Grupo San José: Ordoviciano Inferior - Medio (Oim-sj)

La Formación San José se divide en 3 secuencias: La secuencia inferior (350 metros) está constituida por cuarcitas finas de colores rojizos, verdes y grises, seguidas por pizarras micáceas y esquistos de estaurolita, de tonalidades verde o negra, y finaliza con cuarcitas grises intercaladas con pizarras. La secuencia intermedia (450 metros) está formada por lutitas bandeadas, que gradualmente se transforman en niveles de lutitas negras. Finalmente, aflora principalmente pizarras negras o filitas (400 metros). Las secuencias inferior e intermedia se vuelven más delgadas lateralmente. Estas secuencias están fuertemente plegadas, lo que da lugar a un espesor aparente mayor de la formación. El origen de los sedimentos es marino de poca profundidad.

3.2.1.2. Formación Sandía: Ordoviciano Superior (Os-s)

Descrita por Laubacher (1978), quien señala que la secuencia litoestratigráfica está compuesta por capas gruesas a delgadas de cuarcitas intercaladas con finas capas de pizarras y pizarras cuarzosas laminares. Esta unidad se describe en términos generales como una secuencia de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color gris claro a blanquecino, depositadas en capas delgadas a medianas, con intercalaciones de lutitas oscuras finamente laminadas. En algunos niveles, las areniscas muestran estratificación cruzada. La unidad ha sido delimitada en la región suroccidental del departamento al sur de Pilcopata (Cuzco), formando parte de la Cordillera Oriental, donde su desarrollo es significativo y su espesor se estima en aproximadamente 2,000 metros (Laubacher, 1978).

3.2.1.3. Formación Ananea: Siluriano – Devoniano (SD-a)

Esta unidad fue descrita inicialmente por Laubacher (1978) en la localidad de Ananea, en el sector suroriental del Perú. Está formada por una secuencia predominantemente de lutitas negras ligeramente metamorizadas, afectadas por esquistosidades de flujo, con un espesor aproximado de 2,500 metros en esta área. Estudios adicionales en la Cordillera Oriental muestran secuencias sedimentarias de pizarras y limo arcillitas pizarrosas en tonos que van de grises a negros, sin estratificación visible, y con capas delgadas de areniscas y cuarcitas en la parte superior, aunque en forma limitada. Las pizarras no son muy compactas y se desintegran fácilmente, adquiriendo un color ceniciento. Debido a la fragilidad de las pizarras, los afloramientos presentan alteraciones causadas por la continua erosión (Laubacher, 1978).



3.2.1.4. Grupo Cabanillas: Devoniano (D-c)

Descrita por Newell (1949), quien documenta una sucesión compuesta por una capa espesa de lutitas de tonalidades grises a negras, así como capas delgadas de cuarcita. En términos generales, esta unidad geológica está expuesta en varias áreas de la Cordillera Oriental, donde forma una secuencia gruesa de lutitas grises a negras y capas delgadas de cuarcita. También exhibe estructuras sedimentarias del tipo flysch y está atravesada por numerosos diques y sills de granito y gabro-dioritas, los cuales han causado un intenso metamorfismo de contacto en las rocas circundantes, resultando en la formación de pizarras micáceas y hornfels. Los afloramientos más notorios y claros se encuentran descritos entre los límites de Madre de Dios y Cusco, siendo esta su zona predominante dentro de la región (Newell, 1949).

3.2.1.5. Grupo Mitú: Pérmico Superior-Triásico Inferior (PET-M)

El Grupo Mitú, definido por McLaughlin (1924), se encuentra en discordancia erosional sobre el Grupo Copacabana. Este grupo se expone de manera extensa en la porción noreste del Cuadrángulo de Urubamba y en el extremo occidental del Cuadrángulo de Calca. En el Cuadrángulo de Calca, aflora a lo largo del Anticlinal del Vilcanota, desde San Salvador hasta Calca, y en el Cuadrángulo de Urubamba entre Arín y Patacancha, donde desaparece abruptamente en contacto con una falla de orientación norte-sur. En el Grupo Mitú se distinguen dos unidades litoestratigráficas claramente identificables entre San Salvador y Lamay, mientras que desde Calca hasta el valle de Patacancha, se presenta casi de manera masiva y exclusivamente como paquetes volcánicos de gran espesor. Las unidades litoestratigráficas del Grupo Mitú definidas en el Cuadrángulo de Calca son las formaciones Pisac y Pachatusan (Candia & Carlotto, 1985; Carlotto et al., 1988).

3.2.2. Mesozoico

3.2.2.1. Formación Huancané (Ki-hua)

La Formación Huancané descansa en discordancia erosional o en débil discordancia angular sobre el Grupo Mitú. Se expone al norte de la ciudad de Urubamba, en las quebradas Chicón y Pumahuanca. En todos los afloramientos, entra en contacto por una falla inversa con el Grupo Mitú y la Formación Paucartambo. Sus afloramientos sirven como una unidad guía en la cartografía, tanto por su color (pardo blanquecino) como por la formación de acantilados. El espesor es reducido y varía entre 30 y 150 metros. La edad



asignada a esta unidad es el Cretácico inferior. Las areniscas cuarzosas, debido a su alta porosidad y permeabilidad, la convierten en excelentes acuíferos. Pueden ser utilizadas como materiales de construcción. Un posible interés económico podría ser la extracción de los granos de cuarzo, que son muy redondeados y homogéneos.

3.2.2.2. Formación Paucarbamba (Ki-pau)

La Formación Paucarbamba (Chávez, 1995; Carlotto, en preparación) reposa concordantemente sobre la Formación Huancané (ver Foto 20), señalando una alteración significativa en el ambiente de depósito, pasando de una sedimentación fluvial a una sedimentación marina poco profunda de tipo areno-pelítica y posteriormente a una sedimentación carbonatada (Formación Ayavacas). Se manifiesta en Paucarbamba, extendiéndose hasta la quebrada Silque, y también en los alrededores de Cancha Cancha (Cuadrángulo de Urubamba). En el Cuadrángulo de Calca, aparece en casi todas las ubicaciones donde se encuentra la Formación Huancané, diferenciándose claramente por su tonalidad rojiza.

3.2.3. Cenozoico (Cuaternario – Holoceno)

Como su nombre lo indica se puede apreciar que son depósitos de material cuaternario de cobertura de los cuales podemos resaltar.

3.2.3.1. Depósito Fluvioglaciares (Q-glfl)

Son depósitos distribuidos dentro del cuadrángulo de calca correspondientes a depósitos cuaternarios del holoceno medio compuestas por bloques de gravas de origen volcánico y sedimentario los cuales fueron englobados por una matriz limo arenosa sus clastos de las gravas son sub angulosas presentes en las quebradas de los cerros cerro Corrayoc y cerro Yanaorco, quebrada Llulluchayoc, depositados como coladas o tipo de reptaciones.

3.2.3.2. Depósitos Glaciares (Morrenicos): cuaternario – holocena (Q-gl)

Los depósitos glaciares (morrenas) se encuentran al pie de la cadena de nevados observada en la Cordillera Oriental de la zona de estudio. Kalafatovich (1956) proporciona una descripción de la glaciación pleistocénica en el norte de Urubamba, basándose en el análisis de las quebradas Yucay, Chicón, Pumahuanca y Yanahuara, las cuales son clasificadas desde el punto de vista fisiográfico como “quebradas de glaciación” debido a que han sido esculpidas por la acción erosiva de los antiguos glaciares pleistocenos,



dejando huellas en las rocas in situ y en el modelado topográfico de dichas quebradas. En Urubamba, los glaciares colgantes de la región montañosa tienen su límite inferior a altitudes que varían entre 4,700 y 4,800 metros, todos situados en pequeños circos glaciares alargados (Kalafatovich, 1956).

3.2.3.3. Depósito Aluviales (Qh-al)

Dentro la clasificación de los tipos de depósitos aluviales podremos mencionar que existen 02 tipo claramente definidos las que se encuentran en formación las cuales son los fondos de valles denominándolos Qh-al y los conos aluviales determinados por terrazas y conos aluviales en quebradas y zonas de depósito poco distales compuestos en su mayoría por gravas limo arenosas muy poco consolidadas o en proceso de consolidación altamente inestables, este material de cobertura cuaternaria se encuentra en las laderas por donde está el trazo de la vía existiendo zonas inestables.

3.3. Geología Local

La geología local de la zona de estudio está vinculada a la formación de la estructura de la Cordillera Oriental correspondiente a la era Paleozoica Inferior, así como a las rocas intrusivas del Permiano Inferior y del Triásico de la Era Mesozoica. Incluye las formaciones presentes en el área de análisis, dentro de la cual se encuentra delimitado el recorrido de la vía.

ERAMETA	SISTEMA	SERIE	GEOCRO-NOLOGIA	UNIDAD LITOSTRATIGRAFICA	
C E N O Z O I C A	CUATERNARIO	HOLOCENA		DEPOSITOS COLUVIALES	
				DEPOSITOS FLUVIOCOLUVIALES	
				DEPOSITOS MORRENICOS	
MEZOSOICA	CRETACEO	INFERIOR	140	FORMACION PAUCARBAMBA	
	TRIASICO	SUPERIOR	206		
P A L E O Z O I C O	PERMIANO	INFERIOR	248	GRUPO NIJU	
	DEVONIANO		354	GRUPO CABANILLAS	
	SILURIANO		417	FORMACION ANAENA	
	ORDOVICIANO	SUPERIOR		443	FORMACION SANWA
		MEDIO		470	GRUPO SAN JOSE
		INFERIOR		480	

Figura 8: Columna estratigráfica Lares - Quellopuito – Cusco (Fuente: Elaboración Propia).



3.3.1. Grupo San Jose: Arenigiano – Llanviriniano (Om-Sj)

Litológicamente el grupo San José está compuesto principalmente por pizarras de grano muy fino, de color gris oscuro a negro, con alteraciones amarillas y rojizas. Sus minerales predominantes son el cuarzo y la sericita, esta última débilmente orientada, y como mineral accesorio se encuentra la pirita. La estratificación se presenta en capas delgadas de 2 a 3 cm y gruesas de 20 a 50 cm.

La inserción de estratos de 10 a 20 cm de areniscas es rara y están transformadas. Estas areniscas metamórficas son de tonalidad gris a gris oscuro, de textura media a fina, con formas subangulosas y sus componentes predominantes exhiben granos de cuarzo unidos y mica orientada. La disposición de las micas y los granos de cuarzo unidos indica que estas rocas han experimentado un proceso de metamorfismo regional de bajo nivel.

Las rocas están plegadas por la tectónica herciniana y la más reciente andina, lo que dificulta la estimación de su espesor; sin embargo, según estudios previos, se sabe que supera los 1,000 m. Exposiciones de estas rocas se encuentran repartidas por toda la región suroccidental del área con características similares. Al estar en contacto con las rocas intrusivas, han experimentado un metamorfismo térmico que ha dado lugar a la formación de minerales como la andalucita y la cordierita, en función de la proximidad a las rocas intrusivas.

3.3.2. Formación Sandia: Carodiciano (Os-s)

Representa un estrato de referencia en la cartografía, dado que su composición predominantemente cuarcítica y su considerable grosor permiten distinguirlo de otras unidades Paleozoicas. Se encuentra sobre la Formación San José, formando una serie de pliegues que son atravesados por una falla inversa, la cual hace que la Formación San José se repita.

La formación Sandia se expone en la sección central del Anticlinorio de Colquepata, extendiéndose hasta Lares en forma de sombrero, emergiendo en las cumbres de los cerros en forma de sinclinal, y se encuentra por encima de la Formación San José.

La primera (200 m), está formada por pizarras oscuras, sin una clara distinción respecto a la Formación San José. La segunda capa (800 m) se destaca como el componente principal de la unidad, y se compone de bancos de cuarcitas alternados con estratos de pizarras oscuras o pizarras cuarcíticas, de grosor variable. La tercera capa (500 m) es



principalmente arenosa. La cuarta capa (300 m) consiste en una alternancia de pizarras oscuras o esquistos, con capas delgadas de cuarcitas, y presenta nódulos calcáreos.

El paso de la Formación San José a la Formación Sandia, está en acuerdo y aparentemente en continuidad estratigráfica, siendo complicado precisar el contacto exacto. El espesor de la serie es aproximadamente de 1,800 metros.

La formación Sandia emerge en la región de estudio en el sector NE desde la localidad de Quelllopuito en el Cerro Yanacaca y el Cerro Vischacuna, entrando en contacto con la formación San José a través de una falla inversa (anticlinal). De manera similar, también se encuentra en contacto con el grupo Cabanillas debido a una falla inversa. Esto es resultado de la intensa actividad tectónica en la zona, observándose la ausencia de formaciones del Ordovícico superior y del Silúrico inferior. La transición de la Formación San José a la Formación Sandia parece ser coherente y aparentemente continua en términos estratigráficos, siendo complicado determinar el contacto preciso. Por esta razón, frecuentemente solo se cartografía la parte superior cuarzosa de la unidad.

En su mayoría el afloramiento de esta formación está conformada por Cuarcitas metareniscas con intercalaciones de Pizarras negras altamente alteradas.

3.3.3. Formación Ananea: Siluro – Devoniano (SD-a)

Formación Ananea (Silúrico-Devoniano) Secuencia gruesa de lutitas oscuras alteradas con intercalación de pizarras grises con una orientación esquistosa, finamente estratificadas, que emergen en la localidad de Ananea, en el valle, así como en la Cordillera Oriental, descansando en aparente concordancia sobre la Formación Sandia. Esta formación aflora al SW de la localidad de Quelllopuito. El espesor de la Formación puede exceder los 800 m. Al parecer, esta Formación carece de fósiles, por lo que su edad, según la posición estratigráfica y considerando que la Formación Sandia es del Caradociano, sugiere que estas pizarras esquistosas cuarzosas podrían ser del Silúrico-Devoniano.

3.3.4. Formación Cabanillas Devoniano (D-ca)

La formación Cabanillas se encuentra presente en ambos márgenes del trazo de la vía, estratigráficamente se encuentra discordante sobre la formación Sandia y Formación San José, entrando en contacto con estas formaciones por una falla inversa marcada que domina la una de estudio. La lito estratigrafía es principalmente pelítica en su parte inferior intercaladas con areniscas hacia la parte superior, este material pelítico está constituido por



lutitas grises oscuras intercaladas con limonitas gris claras, arcillosas no calcáreas, intercaladas en capas delgadas. Como se denota la diferencia de litología en la parte superior compuestas por areniscas grises claras de granos finos, consta de capas medianas a delgadas variando en decenas de centímetros.

3.3.5. Grupo Mitú Permico – triásico (Pst-mi)

El grupo Mitú se encuentra aflorando en todo el trazo de la vía margen Izquierda, junto a la formación Cabanillas son las dos formaciones más relevantes dentro del tramo de vía. Este afloramiento se presenta a lo largo del anticlinal del Vilcanota, desde San Salvador Hasta Calca, y desde Arin Hasta Pata cancha sector de Ollantaytambo, en todo el tramo de la vía el grupo Mitú litológicamente se encuentra como un masivo volcánico, con intercalaciones de depósitos sedimentarios de areniscas rojas, presentado brechas de aglomerados y coladas de basal de riolitas, de una coloración rojo violeta característico de dicho grupo, su espesor es variable por diferentes zonas llegando desde los 600 a 1000 m teniendo una edad del permiano superior al triásico inferior.

3.3.6. Depositos Glaciares cuaternario – holocena (Qpl-mo)

Son acumulaciones formadas por la desintegración en el lugar de las rocas y que, además, experimentan cierto movimiento debido a la gravedad. Estos depósitos se identifican en las pendientes pronunciadas de las colinas cercanas a la carretera, así como en las laderas de la quebrada. Están compuestos por material no consolidado, con gravas en una matriz de limo y arcilla. Las gravas provienen de pizarras, cuarcitas y rocas volcánicas. Dentro de estos depósitos también se incluyen los materiales de deslizamientos que se observan en las laderas de los taludes, algunos de los cuales no son estables y activos.

3.3.7. Deposito Fluvioglaciares Qh-fg

Son depósitos distribuidos dentro del cuadrángulo de calca correspondientes a depósitos cuaternarios del holoceno medio compuestas por bloques de gravas de origen volcánico y sedimentario los cuales fueron englobados por una matriz limo arenosa sus clastos de las gravas son sub angulosas presentes en las quebradas de los cerros cerro Corrayoc y cerro Yanaorco, quebrada Llulluchayoc, depositados como coladas o tipo de reptaciones.

3.3.8. Depósitos Aluviales Cuaternario (Q-al)



En esos depósitos se contemplan los conos aluviales y de acumulación. Conformados por materiales Estos depósitos se encuentra a lo largo de las quebradas y ríos, Los conos están compuestos por fragmentos y piedras de pizarras esquistosas, integrados en una mezcla arcillosa-limosa, intercalada en menor medida por depósitos de ríos. Algunos conos aluviales están formados por piedras con una mezcla arenosa-limosa-arcillosa, intercaladas con depósitos fluviales de partículas finas.

3.3.9. Depósitos Coluviales Cuaternario (Q-co)

Son acumulaciones originadas por la desintegración local de las rocas y que además experimentan cierto movimiento por gravedad. Estos depósitos se identifican en las pendientes pronunciadas de los cerros adyacentes a la carretera, así como en las laderas del arroyo. Estos depósitos están formados por fragmentos de piedra en una mezcla limosa-arcillosa. Los fragmentos de piedra provienen de pizarras. Dentro de estos depósitos también se incluyen las acumulaciones de deslizamientos que se observan en las pendientes de los taludes, algunas de ellas muy inestables y activas. Estos depósitos consisten en material no consolidado.

3.3.10. Depósitos Fluvioaluviales (Qh-fal)

Depósitos cuaternarios compuestos por materiales de arrastre proveniente de las partes altas compuestas por una matriz limo arcillosa sub redondeada y en algunos casos sub angulosa por el tipo de deposición violenta por temporadas dispuestas en lo largo del río lares sobre todo en la parte baja donde el valle asume un mayor ancho profundizándose debido al desgaste que viene realizando el río. En su mayoría el material conformante son gravas esquistosas e intercaladas con gravas de grupo Mitú depositados a lo largo del lecho del río.



CAPÍTULO IV GEOLOGÍA ESTRUCTURAL



4.1. Aspectos generales

Las unidades morfo-estructurales de los Andes del sur de Perú se extienden en la dirección noroeste-sureste, alineadas con el eje de la cordillera. Normalmente, se clasifican de oeste a este en una Franja Costera, la Cordillera Occidental, el Altiplano, la Cordillera Oriental, la Zona Subandina y la Llanura Amazónica. No obstante, en la región de estudio, se observa la superposición de dominios estructurales o bloques, cada uno con su propia evolución sedimentaria, estructural y magmática particular de la zona. El límite entre estos grandes dominios está determinado por sistemas complejos de fallas inversas orientadas en la dirección noroeste-sureste, algunas de las cuales están marcadas por unidades magmáticas mesozoicas y cenozoicas. Dentro del cuadrángulo, se identifican tres dominios: el Dominio Noreste, el Dominio Suroeste y el Dominio Intermedio, que se aproxima al río Vilcanota.

En la región de Calca, prevalece el anticlinal del Vilcanota, el cual sigue una dirección NO-SE, atravesando rocas paleozoicas y mesozoicas y mostrando un sistema de fallas inversas que predominan en el área de análisis. Esto provoca que el cabalgamiento del Grupo Mitú se sitúe sobre las formaciones Paucarbamba, y Paucartambo se ubiquen sobre el Grupo Mitú, todo ello al noreste del anticlinal del Vilcanota.

4.2. Dominio intermedio

Este dominio se puede dividir en dos partes: NE y SO, que se ajustan a los flancos del anticlinal de Vilcanota en dirección NO-SE, con afloramientos del Grupo Copacabana. El dominio intermedio está truncado al NO por la formación del Grupo Mitú y por el Grupo San Jerónimo.

El afloramiento rocoso en este dominio está compuesto por rocas del paleozoico superior y del meso-cenozoico. Sin embargo, hacia la cordillera oriental del área de estudio se encuentran rocas del paleozoico inferior (Grupo San José).

En la sección NE, se observa un sistema de cabalgamientos en dirección NO-SE que converge hacia el SO, lo que provoca la repetición del afloramiento del Grupo Mitú sobre la formación Paucarbamba. Esto es evidente en el área de estudio, donde se encuentran los picos de los nevados del Pitusiray y Chicón.

Uno de los cabalgamientos está claramente delineado en la zona de Cancha Cancha y Machacancha, extendiéndose desde el norte de Pisac hasta el sector de Lares, con afloramientos del paleozoico inferior sobre el permotriásico.

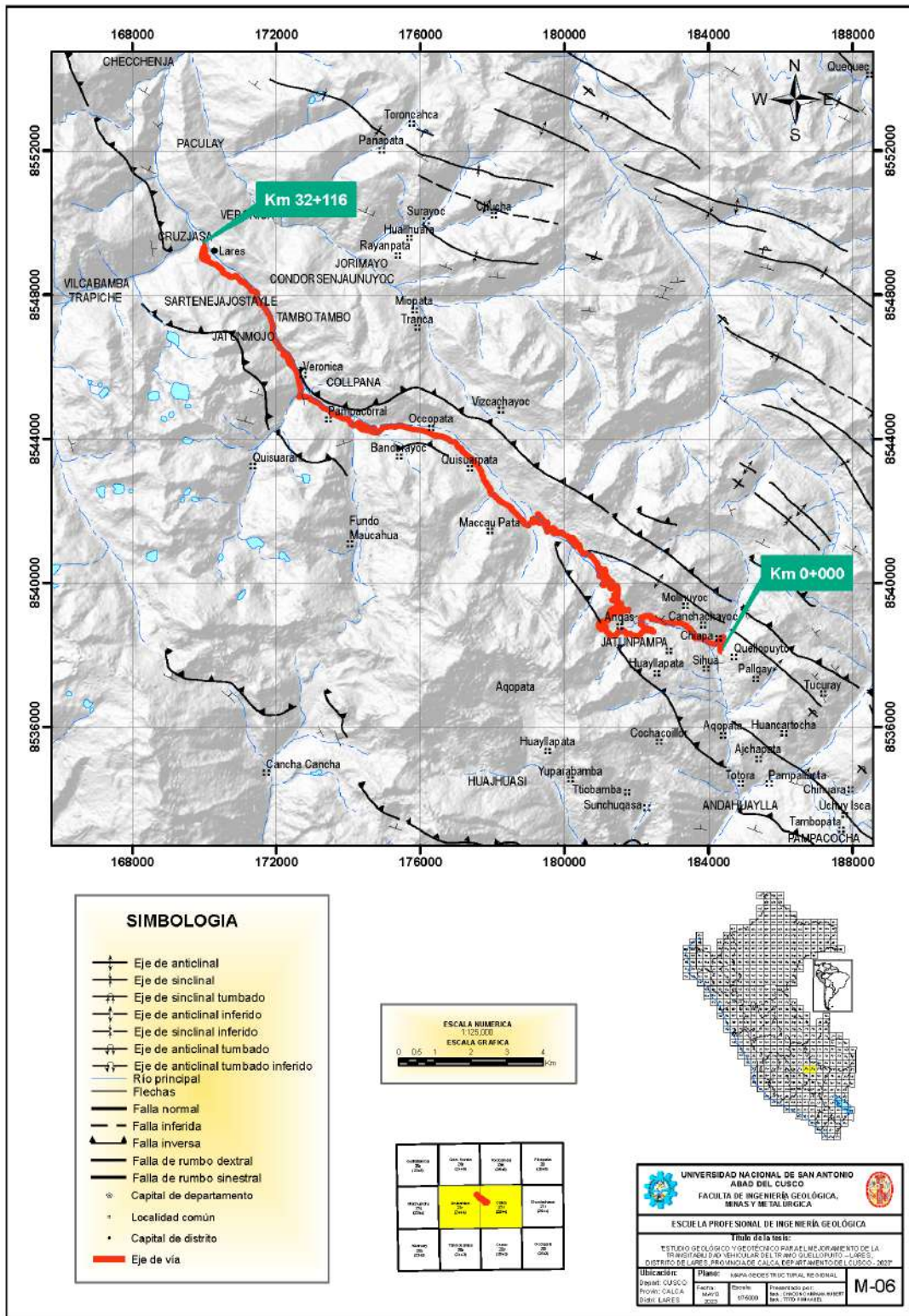


Figura 9: Mapa geoestructural de la carretera Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia).



4.3. Pliegues

4.3.1. *Anticlinal*

El Anticlinal de Vilcanota NO-SE, de control intermedio, surge en profundidad a partir de un pliegue por curvatura de fractura que aparentemente define esta estructura. El lado NE del anticlinal está influenciado por fracturas inversas (antiguas fracturas normales reactivadas) debido a una actividad tectónica – geodinámica interna, que ocasiona la repetición de la presencia del Grupo Mitú.

El área oriental se distingue por su posición inferior y se relaciona, tanto en el sector SO como en el NE, con la reactivación por compresión de fracturas normales paleozoicas (inversiones tectónicas), las cuales se vuelven verticales a mayores profundidades. Estas fracturas flexionan las formaciones del Paleozoico inferior, ya alteradas por la tectónica Herciniana.

4.4. Fallas

En el área de estudio se observan distintos sistemas de fracturación, evidenciando discordancias en la disposición del terreno y en las formaciones presentes, indicando.

4.4.1. *Fallas normales*

La localidad de Calca, en el Distrito de Lares, está claramente atravesada por un conjunto de fracturas transversales que cortan el valle de Lares, destacando especialmente aquellas fracturas que intersectan o atraviesan fracturas inversas presentes en el valle de Lares, dispuestas en ambos lados. Estas fracturas normales tienen una orientación de O-E, determinada por una intensa actividad tectónica en la localidad de Pampa Corral, que divide el valle desde el cerro Tancaorjo hasta el cerro Quishuarani, atravesando estructuras de la formación San José, el Grupo Cabanillas y el Grupo Mitú. Es probable que se trate de una tectónica relacionada con movimientos nevadinos, evidenciando la discordancia en la parte superior del Grupo Mitú (tectónica Nevadina).

4.4.2. *Fallas inversas*

A causa de la intensa actividad tectónica, hay un sistema de fracturas que predomina en la región de estudio, siendo estas fracturas inversas situadas por encima del tramo de la vía (montañas superiores en los flancos derecho e izquierdo). Este conjunto de fracturas tiene una orientación de NO-SE, cortando claramente los picos de las montañas. Estas fracturas inversas son notoriamente visibles en la parte de las montañas en la zona de



contacto entre el flanco derecho de las formaciones San José y el grupo Cabanillas, y en el flanco izquierdo en la zona de contacto entre la formación del grupo Mitú y el Grupo Cabanillas.

4.4.3. Fallas inferidas

Estas son aquellas que fueron interpretadas por fotografías aéreas o vistas satelitales, de modo que no han sido comprobadas insitu (en campo) debido a diversas circunstancias, a lo largo de la zona de estudio se aprecia fallas inferidas desde la progresiva 25+500 hasta la progresiva 28+000, situándose de manera posterior al centro poblado de Pampacorral.



CAPÍTULO V GEODINAMICA



5.1. Aspectos generales

En toda la estructura de carreteras es necesario llevar a cabo un análisis de la dinámica interna y externa del área por donde se ubica el trazado de la carretera. Para ello, debemos distinguir entre estos dos agentes dinámicos: la dinámica interna estará influenciada por la subducción de placas y las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio. Por otro lado, la dinámica externa deberá ser clasificada en función de los diversos fenómenos que impactan en la carretera, afectando el tipo de material cuaternario, afloramiento rocoso, entre otros. También es necesario proporcionar algunos detalles sobre la definición de dinámica.

Se denomina geodinámica al estudio de las transformaciones que ocurren en la corteza terrestre. Esta investigación, que se lleva a cabo dentro del campo de la geología, abarca tanto las causas que originan estas alteraciones como los efectos resultantes de dichas modificaciones.

Se puede diferenciar entre la geodinámica externa (que se refiere a los procesos exógenos de la corteza terrestre) y la geodinámica interna (relacionada con los procesos endógenos). En este ámbito, la geodinámica utiliza diversos factores que influyen en las variaciones.

La geodinámica interna, a su vez, se enfoca en los cambios que ocurren en la estructura interna del planeta, causados por fuerzas que actúan en el interior de la Tierra. El desplazamiento del magma, la formación de rocas ígneas, los seísmos y las fallas geológicas son algunos de los aspectos que examina la geodinámica de esta índole.

En cuanto a la geodinámica externa, los factores involucrados provienen del exterior de la superficie terrestre. Generalmente, se trata de elementos climáticos como el agua o el viento, que interactúan con las capas más superficiales del planeta. Estos factores tienden a modificar el relieve, causando erosión. Además, los seres humanos, los animales y las plantas también desempeñan un papel en la geodinámica externa.

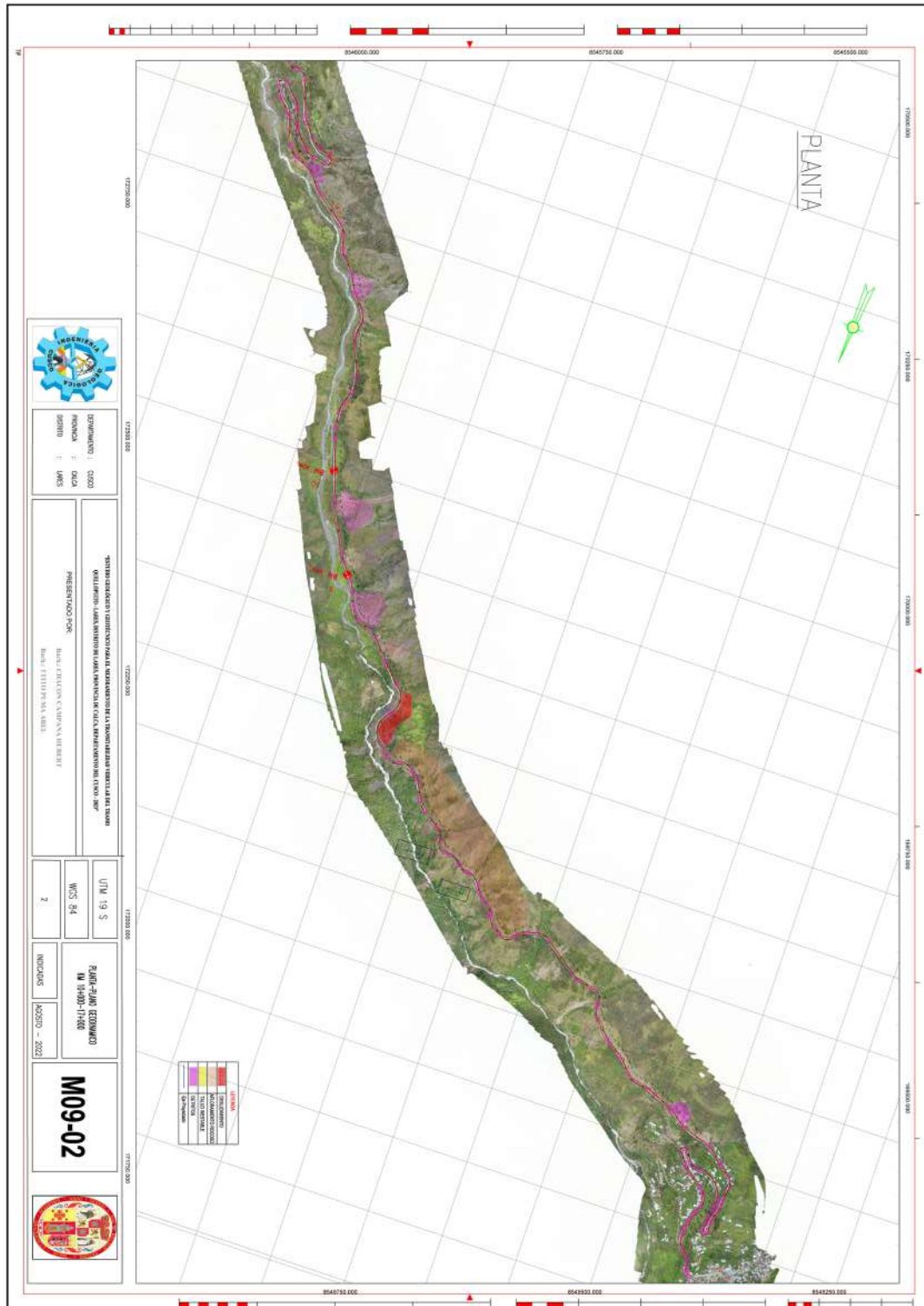


Figura 10: Mapa geodinámico 01 de la carretera de Quellopuito – Lares (Fuente: Elaboración Propia)

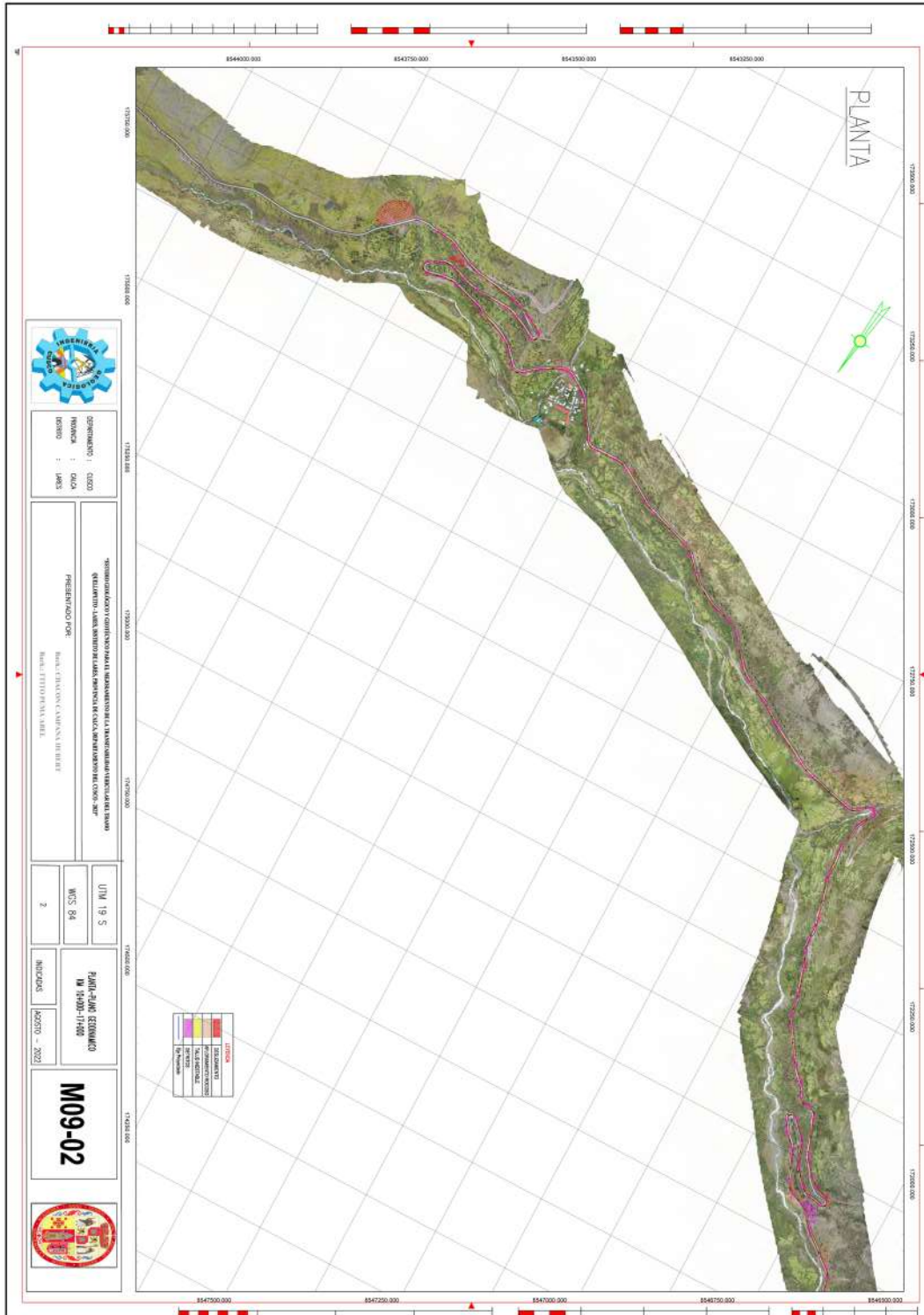


Figura 11: Mapa geodinámico 02 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)

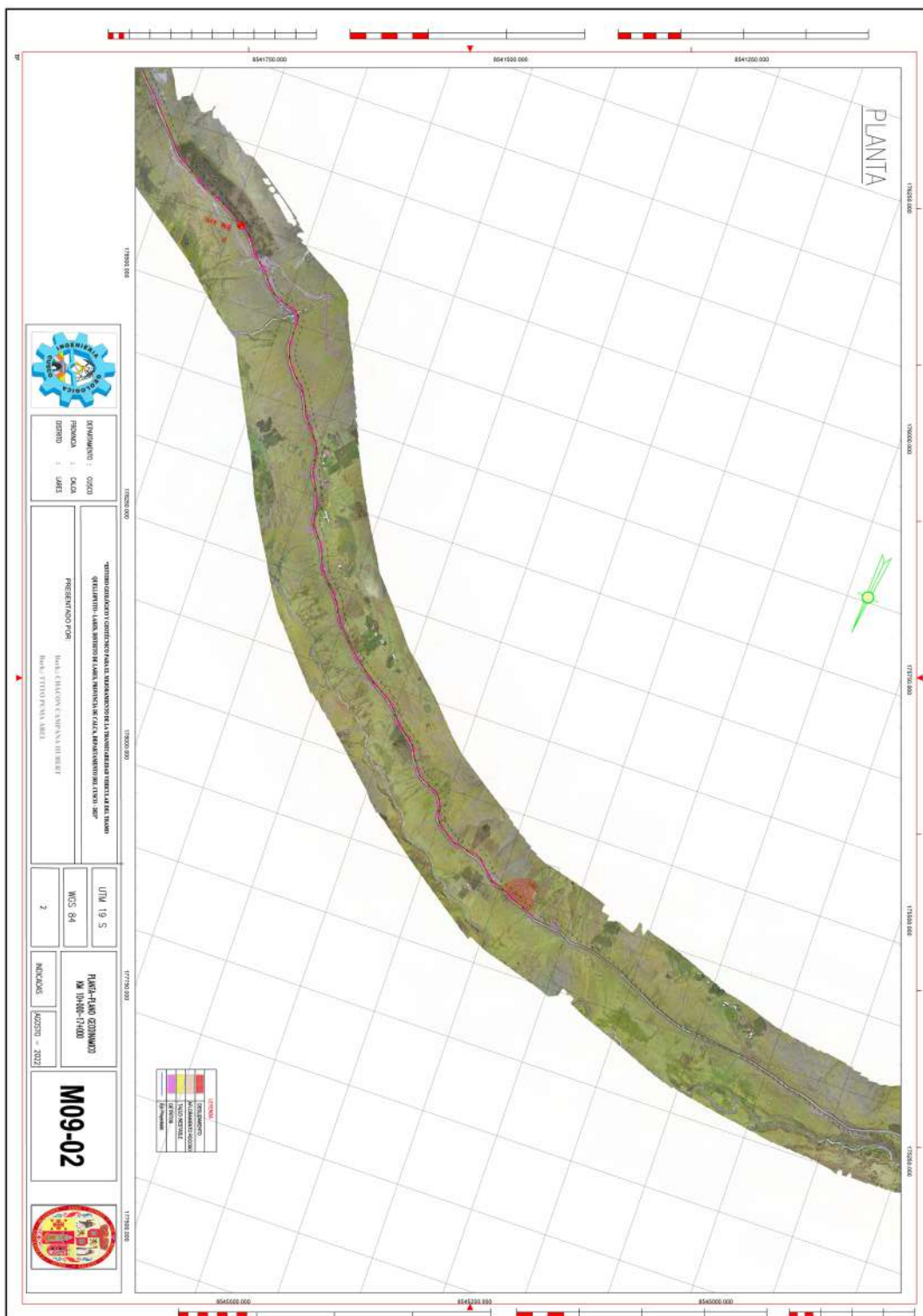


Figura 12: Mapa geodinámico 03 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)

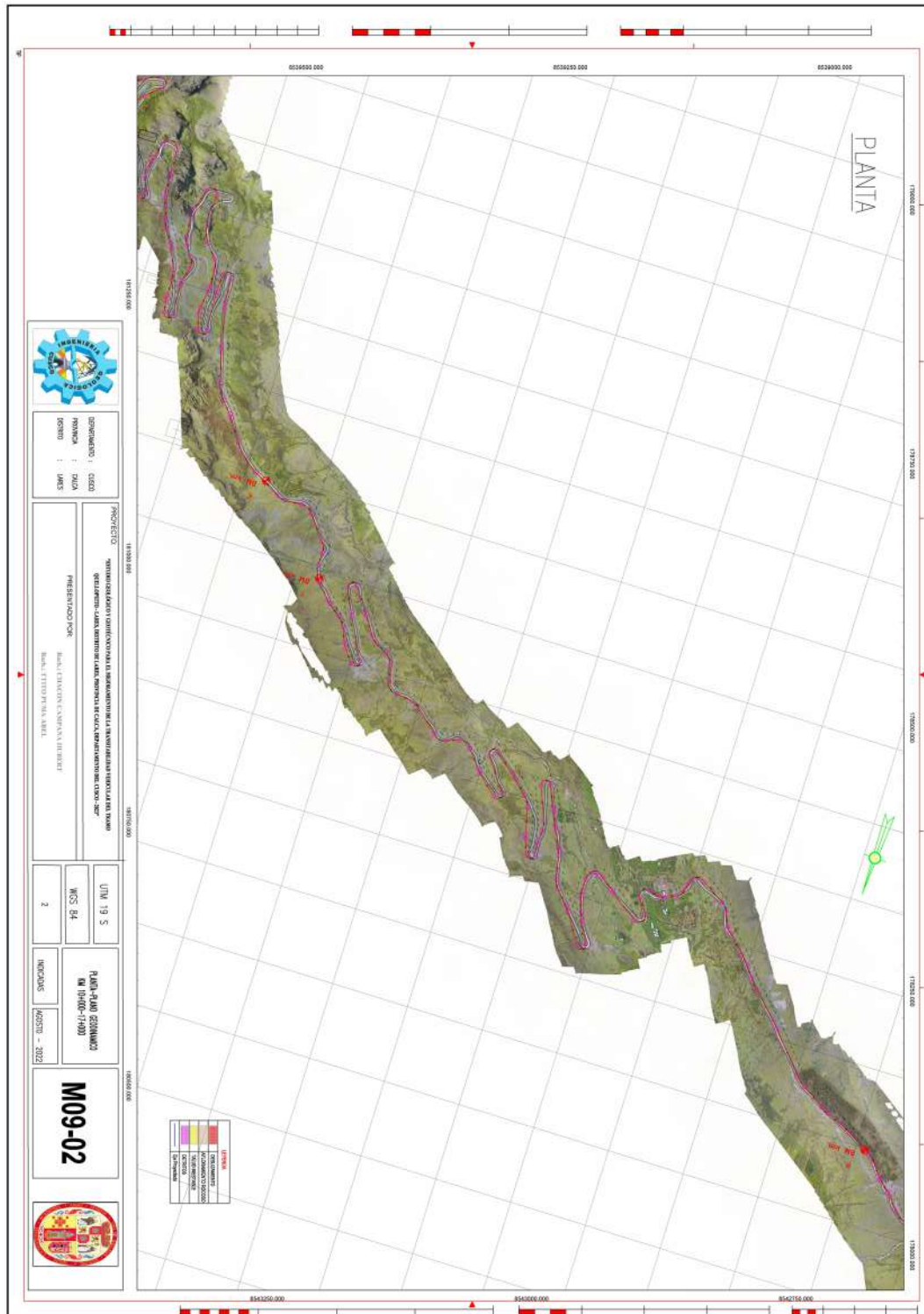


Figura 13: Mapa geodinámico 04 de la carretera de Quellopuito – Lares. (Fuente: Elaboración Propia)



5.2. Geodinámica interna

El límite occidental de América del Sur es una zona típica de colisión de placas, destacada por su intensa actividad desde el enfoque sismológico. Perú está incluido en esta región, y su actividad sísmica más significativa está vinculada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, lo que origina terremotos de gran magnitud a diversas profundidades.

Un segundo tipo de actividad sísmica es el generado por las alteraciones en la corteza que se producen a lo largo de la cordillera de los Andes, lo que origina temblores menores en intensidad y frecuencia; un tercer tipo, directamente vinculado a la tectónica de placas, es la sismicidad de origen volcánico. Las características morfo-tectónicas predominantes de la región, como la cordillera de los Andes y la fosa oceánica peruano-chilena, están asociadas con la interacción de las dos placas convergentes, siendo el proceso orogénico en el área andina la consecuencia más evidente.

Los mecanismos de subducción de la placa de Nazca presentan tres características tectónicas destacadas, cada una con atributos diferentes, en relación con los eventos sísmicos que generan y las fallas que exhiben. Estas características tectónicas vinculadas con fuentes sismogénicas son las siguientes:

Zona de subducción de interfaz poco profunda

Zona de subducción intraplaca profunda

Zona de corteza continental de la placa Sudamericana

Distribución de fuentes sismogénicas en Perú

Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP)

El ámbito de influencia de la L.T. se encuentra en la región de la corteza continental de la placa Sudamericana, sometida a tensiones tectónicas compresionales debido a la convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana detrás de la región montañosa.

La zona de Cusco está afectada por los terremotos originados en la placa de Nazca y por los temblores causados por deformaciones en la corteza, y está vinculada a las fallas tectónicas activas presentes en la región de Cusco. Aunque estas fallas activas se manifiestan con una frecuencia baja y magnitudes moderadas, en esta sección se examina toda la actividad sísmica



histórica, así como algunos hallazgos e interpretaciones preliminares sobre aceleraciones y períodos de retorno para diversas intensidades en la escala modificada de Mercalli. El propósito es ayudar en la zonificación del riesgo sísmico y, en consecuencia, prevenir perjuicios.

En el área de análisis, la actividad sísmica tiene diversas repercusiones dependiendo de la naturaleza de las formaciones geológicas y del suelo. Teniendo en cuenta el grado de peligro sísmico de los depósitos cuaternarios, que presentan escasa consolidación y delgadez, estos tendrían un bajo riesgo en cuanto a la amplificación de las ondas sísmicas. No obstante, podrían ocurrir deslizamientos de masa si estos depósitos estuvieran saturados con aguas provenientes de precipitaciones. En las formaciones rocosas, el riesgo potencial debido a la amplificación de ondas por refracción es bajo; sin embargo, los temblores pueden provocar desprendimientos de rocas y deslizamientos en áreas con pendientes pronunciadas, especialmente en zonas afectadas por fracturamiento o una intensa meteorización.

Las fallas activas de la zona han sido clasificadas en dos secciones llamadas: Sistema Cusco y Sistema Vilcanota. (Cabrera J. , 1988). Dentro del sistema de fallas Cusco se han reconocido las fallas de Tambomachay, Qoricocha, Zurite y Pachatusan. Dentro del sistema de fallas Vilcanota se tienen las fallas Pomacanchis, Pampamarca y Langui. También se tiene un sistema de fallas activas en la zona de Ausangate en la cuenca de Ocongate.

De acuerdo con el RNE-norma E-030 de diseño antisísmico, basándose en la distribución espacial de la actividad sísmica registrada en el país, las características generales de los movimientos sísmicos y su atenuación con la distancia desde el epicentro, así como en la información neotectónica; el país se considera dividido en 4 áreas.



Figura 15: Zonificación sísmica del Perú (Fuente: Norma E-030 Diseño Sismoresistente)

A cada área se le asigna un factor Z conforme a lo indicado en la Tabla N° 1. Este factor se entiende como la aceleración máxima horizontal en suelo firme con una probabilidad del 10% de ser superada en 50 años. Sin embargo, para estructuras que no sean edificios, la aceleración de diseño debe ajustarse al tiempo de vida útil de la estructura. El factor Z se presenta como una fracción de la aceleración gravitacional.



Tabla 7: Factores de zona "Z"

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: Norma E-030 Diseño Sismoresistente

De acuerdo a la zonificación sísmica dentro del RNE- E-030 DISEÑO SISMO RESISITENTE. El área de. La región del Cusco se ubica en la zona 2 y 3 por el lado de espinar. Y el área de estudio se ubica en zona 2, con aceleración máxima de 0.25.

Dentro de la data historia de los sismos más importantes del cusco se tienen:

siglo XVI

- ✓ En 1581, un sismo hizo que se hundiera, junto con todos sus habitantes, el pueblo de Yanaoca, ubicado a 24 leguas de Cusco.
- ✓ En 1590, en Cusco y en casi toda la costa sur de Perú se sintió un fuerte sismo.

siglo XVII

- ✓ 31 de marzo 1650, a las 14:00 horas ocurrió un terremoto en Cusco, quedando la ciudad en ruinas. Por varios días se repitieron otras sacudidas, ocurriendo grandes deslizamientos en Pisac y Paucartambo.

siglo XVIII

- ✓ 17 setiembre 1707, terremoto en el pueblo de Capi, provincia de Paruro. En la ciudad de Cusco hubo alarma por el sismo. En Capi se contaron más de 20 réplicas hasta el 07 de octubre.
- ✓ En 1717 ocurrió un fuerte temblor en Quiquijana, provincia de Quispicanchis.
- ✓ 1744. El 19 de noviembre a las 06:30 h, hubo un temblor fuerte en la ciudad de Cusco.
- ✓ 11 de febrero – 1746, en el pueblo de Urcos, provincia de Quispicanchis, se sintieron de 9 a 11 temblores. En Acomayo se desplomo la iglesia. Hasta el 15 de febrero se sintieron más de 90 réplicas.



siglo XIX

- ✓ 22 abril 1804 en Cusco ocurrió un movimiento Sísmico con gran intensidad.
- ✓ 1905. El 23 de enero; a las 06:00 h, un fuerte temblor sacudió Cusco a unos 42 km al oeste en Andahuaylillas, donde se desplomaron algunas viviendas.
- ✓ 1928. El 17 de mayo, a las 06:00 h, hubo un fuerte temblor en Cusco, produciéndose derrumbes en Paucartambo
- ✓ 27 marzo 1870, a las 01.10 horas fuerte temblor en Cusco.
- ✓ 10 Julio 1870 a las 13.30 horas la provincia de Chumbivilcas fue sacudida por un fuerte sismo.

siglo XX

- ✓ 23 de enero 1905 a las 06.15 horas hubo un fuerte temblor en Cusco, no llegando a causar daños a las construcciones. En Anta y Urcos el movimiento fue leve.
- ✓ 17 mayo 1928, a las 05:55 horas fuerte temblor en Cusco, Paucartambo y Macuspana.
- ✓ 05 marzo 1938, a las 07:00 horas el pueblo de Acopia, provincia de Acomayo, fue sacudido por fuertes y repetidos temblores que causaron derrumbes de casas, cuarteamientos de paredes y agrietamientos del terreno.
- ✓ 06-marzo-1938, a las 13:13 horas el pueblo de Tinta, provincia de Canchis, fue sacudido por un fuerte temblor que derribo casas viejas. El movimiento se sintió en la ciudad de Cusco y lugares aledaños.
- ✓ 23 junio – 1939, a las 23:00 horas ocurrió un terremoto en el pueblo de Pomacanchi, Provincia de Acomayo, dejando un saldo de 37 muertos y alrededor de 40 heridos. Se sintieron alrededor de 50 temblores de menor intensidad después del principal. El sismo fue sentido en Yanaoca, Tinta, Checacupe, Combapata, Sangarará y Sicuani.



- ✓ 18 setiembre – 1941, a las 08:15 horas se produjo un fuerte sismo en Cusco (VI-VII M.M), dañando varias iglesias, capillas, edificios públicos y viviendas. El movimiento sísmico se sintió en Abancay, Paracas y Caraveli.
- ✓ 30 enero- 1943, a las 00:00 horas se produjo un violento terremoto destruyendo los pueblos de Yanaoca y Pampamarca, provincia de Canas. El sismo causo la muerte de 75 personas y alrededor de 200 heridos.
- ✓ 21- Mayo – 1950, a las 13.35 horas terremoto en Cusco con una intensidad VII M.M. heridos. El área epicentral estuvo confinada al valle del Cusco en unos 12 Km². La profundidad focal se estimó en unos 9 Km.
- ✓ 26 –Febrero – 1952, a las 06:31 horas en Cusco ocurrió un movimiento sísmico con una intensidad V M.M. y fue sentido en los pueblos de Paruro, Anta, Izcuchaca.
- ✓ 30 – Marzo – 1953, a las 17:16 horas, ocurrió un sismo en Cusco con una intensidad de grado V M.M.
- ✓ 19- junio- 1955 a las 21:00 horas en Anta ocurrió un sismo con una intensidad del grado IV – V M.M.
- ✓ 08 – Noviembre – 1961, a las 14:30 horas en Acos provincia de Acomayo, ocurrió un fuerte sismo con intensidad VI M.M. se sintieron 20 movimientos posteriores con ruidos subterráneos y hubo desprendimientos de rocas en los cerros que rodean al pueblo.
- ✓ 08 – Mayo – 1965, a las 17:23 horas fuerte sismo en Urcos, provincia de Quispichanis, alcanzando una intensidad de V – VI M.M. Ocurrieron desprendimientos de rocas en las laderas de los cerros alrededor del pueblo y el movimiento fue sentido en Cusco y pueblos aledaños.



- ✓ 03- junio -1980, a las 14:17 horas sismo en Mollepata, provincia de Anta, con un grado VI M.M. El movimiento fue sentido en Limatambo. Izcuchaca, Ollantaytambo, Urubamba, Pisac, Oropesa y Cusco donde alcanzo la intensidad de IV M.M.
- ✓ 05- Abril – 1986, a las 15:14 horas en Cusco ocurrió un fuerte sismo con una magnitud de 5.2 en la Escala de Richter con 63 Km. de profundidad focal.
- ✓ 23/09/2007 sismo ocurrido en la localidad de lares donde se tuvo daños materiales algunas viviendas fisuradas, taludes deslizados

Fuente. Sismicidad y registros sísmicos en cusco. Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado.

5.2.1. Perfiles del suelo

Los perfiles del suelo se toman considerando la velocidad media de propagación de las ondas de corte VsVs, o alternativamente para suelos granulares, el promedio ponderado de los N0N0 datos obtenidos a través de una prueba de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condiciones no drenadas Su para suelos cohesivos. Para suelos granulares, se calcula N60, teniendo en cuenta únicamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condiciones no drenadas Su se determina como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares).

Se tiene 5 tipos de perfiles de suelos S1, S2, S3, S4, S5. Donde las aceleraciones de la velocidad de las ondas se determinan para cada tipo de suelo existente.

- ✓ Perfil tipo S0. Roca dura
- ✓ Perfil tipo S1. Roca o Suelos muy rígidos
- ✓ Perfil tipo S2. Suelos intermedios
- ✓ Perfil tipo S3. Suelos blandos
- ✓ Perfil tipo S4. Condiciones excepcionales



5.2.2. *Parámetros de sitio*

Se deberá tener en cuenta el tipo de perfil que mejor refleje las condiciones locales, utilizando los valores correspondientes del factor de amplificación del suelo SS y de los períodos TP y TL proporcionados en las Tablas. presentes (Tabla 4 y 5), de la norma E-030 DISEÑO SISMORESISTENTE).

Tabla 8: *Factor de suelo "s"*

Suelo	S0	S1	S2	S3
Zona				
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Norma E-030 Diseño Sismoresistente

Tabla 9: *Periodos "TP" y "TL"*

	Perfil del suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP(s)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL(s)	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: Norma E-030 Diseño Sismoresistente

Según la descripción realizada en el presente estudio del área de influencia la zona de estudio se encuentra sobre un perfil de suelo S0 Roca dura, S1 roca o suelos muy rígidos y S2 suelos intermedios desde el ramal localidad de Quellopuito – Pampa Corral - Lares.

Dado ello para los cálculos de aceleración máxima del terreno con una probabilidad al 10% de ser excedida en 50 años se deberá tomar en cuenta valores de los cuadros adjuntos.

De lo mencionado anteriormente a la evaluación para los cálculos y el diseño de obras de arte, diseño de vía y obras adicionales se tiene el siguiente resumen que será importante y fundamental durante el estudio definitivo del expediente técnico, basados en los estudios de clasificación de suelos obtenidos en laboratorio se podrá determinar lo siguientes parámetros.



Tabla 10: Parámetros de Diseño

parámetros de diseño	Magnitud	Descripción
Zona	2	Mapa de zonificación
Factor de zona (Z)	0.25	Tabla N° 1
Tipos de suelos	Tipo S2	Suelos intermedios
Factor de suelo (S)	1.2	Tabla N° 3
Parámetros del suelo	tipo 0.6	Tabla N° 4

Fuente: Norma E-030 Diseño Sismorresistente

5.3. Geodinámica externa

Los fenómenos de dinámica externa son desplazamientos de masas causados por la inestabilidad de terrenos situados en las pendientes de las colinas. Esto puede ocurrir en suelos poco compactos, con escasa vegetación, y en pendientes con inclinación pronunciada. Estos fenómenos tienen distintos orígenes. Los principales factores que contribuyen a la presencia de agentes dinámicos externos son los elementos atmosféricos externos como vientos, aguas continentales, mares, océanos, hielo, glaciares y la gravedad.

Los elementos de formación de la superficie son aquellos encargados de esculpir el paisaje terrestre, siendo los que erosionan, desgastan y dan forma a las estructuras rocosas originalmente elevadas por la tectónica interna de la Tierra, y posteriormente transforman en nuevas configuraciones paisajísticas.

Los elementos que afectan este modelado incluyen factores litológicos, tectónicos y erosivos. Los factores litológicos (relacionados con las rocas) se refieren a las características de las formaciones rocosas según sus propiedades físicas, como su capacidad de ser alteradas, su permeabilidad y su dureza. Los factores tectónicos (referidos a las rocas) determinan la disposición relativa de los estratos y el tipo de estructuras presentes. Los factores erosivos están directamente vinculados a las condiciones climáticas y al relieve en el que se encuentran. Los agentes



atmosféricos que afectan la capa más externa de la corteza terrestre alteran y erosionan las rocas y minerales, transformándolos en fragmentos o detritos.

5.3.1. Meteorización Mecánica o Física

Es la descomposición física de las rocas en fragmentos. Los agentes involucrados son las variaciones de temperatura, el agua y las reacciones químicas de la roca al entrar en contacto con el agua, que alteran la estructura de la roca, haciéndola más inestable.

En la sección de la vía se encuentra roca metamórfica que corresponde al paleozoico, desde el Ordovícico medio y superior hasta el Devónico. Se observa la intrusión de un cuerpo magmático del grupo Mitú, con depósitos de coladas de lava intercalados con areniscas rojizas, así como depósitos morrénicos y coluviones que crean zonas extremadamente inestables en los taludes desde el desvío de Quellopuito hacia Lares. Este tipo de suelos presenta una estructura altamente inestable; afectados por los cambios de temperatura y la adición de agua, son muy susceptibles a la erosión y desintegración, a excepción de los afloramientos de macizos rocosos, que son estables, y las coladas de lava.

5.3.1.1. Cambios de temperatura

Diversos minerales en las rocas poseen diferentes coeficientes de expansión térmica. La expansión irregular y la contracción de estos minerales suceden debido a las variaciones de temperatura. Cuando las tensiones provocadas por tales cambios se repiten frecuentemente, las partículas se separan de las rocas y se generan suelos.

En especial en la parte alta del ramal de Quellopuito hasta la localidad de pampa corral donde las temperaturas pueden alcanzar por debajo de los 0° C, en las noches y por las mañanas hasta los 19° C.

Y a partir de la localidad de pampa corral la temperatura varían convirtiéndose en un clima menos agreste donde la temperatura podría llegar hasta los 4° C por las noches y hasta los 23° C por la mañana del medio día.

5.3.1.2. Acción de la expansión del hielo (acuñamiento del hielo)

El agua penetra en los poros y pequeñas fisuras de las rocas y se congela en climas extremadamente fríos. Dado que el volumen del hielo generado es mayor que el del agua, se produce una expansión. Las rocas se fracturan en fragmentos cuando se generan grandes tensiones en las fisuras debido al efecto de expansión del hielo formado.

5.3.1.3. La difusión de las raíces de las plantas



Conforme las raíces de los árboles y arbustos se expanden en las hendiduras y fracturas de las piedras, las fuerzas influyen sobre estas. Las partes de la piedra se separan y ocurre la descomposición de las rocas.

5.3.1.4. Abrasión

Conforme el agua, el aire y los glaciares se desplazan sobre la superficie de la piedra, ocurre desgaste y fricción. Esto da lugar a la creación de tierras.

5.3.2. Meteorización química.

Es el momento en que se lleva a cabo la desintegración química o la meteorización química de las rocas; los minerales originales de la roca se convierten en nuevos minerales a través de reacciones químicas. Los suelos resultantes no poseen las características de la roca parental. Los procesos químicos siguientes suelen suceder en la naturaleza:

5.3.2.1. Hidratación

En la hidratación, el agua se mezcla con minerales de piedra, dando lugar a la creación de un nuevo compuesto químico. La reacción química provoca una alteración en el volumen y la desintegración de la roca en partículas diminutas.

Un ejemplo de reacción de hidratación que está teniendo lugar en los suelos es la hidrólisis de SiO_2



5.3.2.2. Carbonatación

Es una clase de desintegración química en la que el dióxido de carbono en la atmósfera se une con el agua para formar ácido carbónico. El ácido carbónico interactúa químicamente con las rocas y causa su desintegración.

Un ejemplo de este tipo es el que ocurre en rocas sedimentarias que contienen carbonato de calcio.

5.3.2.3. Oxidación

La oxidación sucede cuando los iones de oxígeno se unen con minerales en la piedra. La oxidación lleva a la desintegración de las rocas. La oxidación de las rocas es comparable a la oxidación del hierro.

5.3.2.4. Solución



Algunos de los minerales de piedra se disuelven en agua al entrar en contacto con ella. La reacción química ocurre en la disolución y los terrenos se descomponen y pasan a formar otro tipo de suelos (ejemplos suelos turba).

5.3.2.5. Hidrólisis

Es un procedimiento de la química en el que el agua se descompone en iones H^+ y OH^- . Los cationes de hidrógeno sustituyen a los iones metálicos como el calcio, el sodio y el potasio en los minerales de piedra, y los terrenos se desarrollan con una nueva composición química. La desintegración química de las rocas da lugar a la formación de minerales de arcilla. Los minerales de arcilla confieren propiedades plásticas a los terrenos. Los suelos arcillosos se originan por desintegración química.

5.3.3. Meteorización Biológica.

Es generada por la acción bacteriana. Las bacterias promueven la descomposición de materiales orgánicos y combinan el producto con otras partículas de origen fisico-químico, las cuales actúan como catalizadores, entre otros.

Todos estos procesos de meteorización se dan al pasar los años en décadas o siglos conviniendo a la roca madre en partículas muy finas denominándolos suelos.

Estas rocas al ser fragmentadas, erosionadas y desintegradas, adicionado a ello la acción de los agentes de traslación mediante el agua viento y la acción de la gravedad estos suelos son trasladados a las partes más bajas.

5.3.4. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos de masas que ocurren cuando un cuerpo de masa se desplaza a lo largo de una superficie de ruptura, ya sea plana o ondulada, creando una inestabilidad en el talud. Principalmente, ocurren en inclinaciones pronunciadas. Estos deslizamientos pueden ser de diversos tipos, como rotacionales o traslacionales. El factor que contribuye a su inestabilidad es la gravedad, además de la presencia de agua, que provoca fisuras en la coronación, alterando su estado de reposo o estabilidad natural.

La mayor parte de los deslizamientos, en términos generales, se corresponden con deslizamientos rotacionales compuestos por suelos homogéneos. En el tramo de la carretera, estos suelen ocurrir mayormente debido al corte de la carretera, con desplazamiento del talud ya sea por masas o desprendimientos de fragmentos rocosos en los cuales se ha perdido el punto de equilibrio natural del talud. Se les denomina como



deslizamientos antiguos. También se presentan deslizamientos activos recientes que están presentes en todo el tramo desde Km. 00+000 (Quellopuito) hasta el centro poblado de Lares Km 32+437 (Distrito de Lares).

La ocurrencia de los deslizamientos se manifiesta a lo largo del segmento de la vía, reconociendo esos bloques de masas deslizantes que se describen al final del capítulo.

5.3.5. Desprendimiento de masas

El desprendimiento ocurre cuando el desplazamiento implica la caída libre de fragmentos sueltos de cualquier tamaño y es frecuente en pendientes muy pronunciadas donde el material suelto no puede mantenerse adherido a la superficie. Los deslizamientos ocurren cuando el material cohesionado se desplaza a lo largo de una superficie de debilidad, como podría ser una falla. El flujo sucede cuando el material, generalmente saturado con agua o erosionado en la base por agentes externos, se mueve cuesta abajo de manera violenta al perder su estado de equilibrio.

5.3.6. Desprendimiento de rocas

Los desprendimientos de rocas ocurren cuando fragmentos de un macizo rocoso caen libremente hacia el suelo. Estos fragmentos se originan porque el macizo rocoso está muy fracturado o afectado por discontinuidades, como diaclasas, fallas, superficies de estratificación o una intensa meteorización. Los desprendimientos de rocas son muy comunes en áreas montañosas escarpadas formadas por macizos rocosos con alta fracturación. Además, los bloques que se desprenden pueden variar en tamaño; sin embargo, debido a su gran volumen, representan un riesgo significativo en carreteras, bases de acantilados y zonas montañosas cercanas a poblaciones.

Este desprendimiento de rocas se observa en gran parte del tramo de la carretera donde afloran los macizos rocosos de las formaciones metamórficas y del intrusivo rocoso de la formación Mitú, compuesto por roca granítica. Debido a una intensa tectónica y la apertura de la carretera, estos afloramientos quedaron expuestos. A esto se suma la intervención humana, como la voladura de rocas durante la construcción de la vía, que dejó el macizo rocoso expuesto. Al tratarse de una roca metamórfica que presenta exfoliaciones, estratificación y está altamente fracturada, la gravedad hace que se desplace abruptamente hacia la parte baja, dañando la superficie de rodadura de la carretera.

5.3.7. Flujo de detritos



El flujo de escombros en el área de estudio se debe al desprendimiento y desintegración de bloques del afloramiento rocoso, los cuales se depositan de manera gradual pero violenta. La gravedad y la meteorización actúan como factores desencadenantes. Estos depósitos son visibles en las laderas de las montañas y presentan distintos diámetros, predominando rocas de pizarra.

5.4. Sectores identificados con problemas de geodinamica externa

Dentro del estudio se procedió a la identificación de áreas críticas generados por agentes geodinámicos externos, evidenciándose en el todo el tramo de la vía de la carretera, determinando el grado de afección a la vía por lo cual se plantea dar una solución y alternativa a estos problemas geológicos – geodinámicos dentro de toda el área circunscrita. La cual se detalla a continuación:

5.4.1. Sectores críticos

De la evaluación y evidencia física en campo se pueden diferenciar las actividades geodinámicas según el grado de afección que son como se detalla a continuación.

- ✓ Sector Crítico N° 01 Deslizamiento talud inferior (socavamiento por río circundante) Km 00+320 Km 00+345
- ✓ Sector Crítico N° 02 Deslizamiento talud superior Km 29+260 A Km 29+440.

Tabla 11: Sector crítico N°1 Deslizamiento talud inferior (Socavamiento) - Base Plataforma.

Progresivas	Km0+320 Km 0+345
Tipo de proceso	Deslizamiento de talud inferior.
long. afectada	25 m.
Riesgo	Crítico (Socavamiento De Base De Plataforma Hombro Izquierdo)
Caract. del trazo	Tangente, curva.
Ancho de plataforma	De 4.50 m a 5.00 m.
Talud superior	Altura: = 10 - 20 m aprox. Hacia la vía luego varia Pendiente: 80° - 85° hasta una terraza luego varia la pendiente hacia los picos de montaña Material de talud superior presenta material de depósito de cobertura compuesto por material englobante limo-arcilla con clastos sub angulosos a sub redondeados propios de depósitos coluviales aglomerantes, de depósitos abruptos o violentos graduales. Presenta poca cobertura en su mayoría hecho. Los clastos son de diferentes diámetros en cm, compuestos por rocas de la desintegración de la formación presente en la parte superior



Talud inferior	con son el grupo Cabanillas con presencia de areniscas y lutitas intercaladas con rocas metamórficas y rocas metamórficas pizarras de la formación san José. Altura: 40 m. de la base del riachuelo hasta la corona del talud (plataforma de vía hombro Izquierdo).
Descripción	Pendiente: 70°-75° (desde la base a corona del talud). Material de Talud Inferior este talud se encuentra hombro izquierdo de vía compuesta por material grava limosa – arcillosa, mal gradada proveniente de un depósito coluvial de arrastre, deposito poco consolidado por la baja compacidad del material englobante de matriz limosa, con clastos sub angulosos mal gradada. Su pie de talud se encuentra en el lecho de rio, por la cual se viene socavando la base del talud desestabilizando el Angulo de reposo de este cuerpo de talud. Entre los Km 00+320 - al Km 00+345, se desencadenaron fenómenos de deslizamiento rotacional por socavamiento de talud inferior desestabilizando el Angulo natural de reposo del talud, debido a una sobresaturación, del pie de talud, fallando en su base, apreciándose claramente la zona de escarpe del cuerpo deslizante y la corona de ruptura del talud. Este cuerpo de talud se encuentra compuesta por un material de depósito cuaternario coluvial , con material englobante limo arcilla, con clastos de pizarras sub angulosas, de poco transporte material mal gradado. Talud de deslizamiento.
Recomendación	Se recomienda: * canalización del riachuelo de la quebrada Llulluchayoc, *estabilización del talud con la construcción de un muro de sostenimiento, desde el pie de talud siendo esta en forma escalonada. Hasta lograr un Angulo de reposo. *Modificar el eje de vía metros arriba hacia el hombro derecho sin afectar la plataforma superior obra de arte. muro seco base talud.

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 7: Se aprecia deslizamiento de talud inferior de la plataforma mostrando grietas tensionales de coronación en el Km 00 +320 – Km 00+345.

Tabla 12: Sector crítico N° 02: deslizamiento talud superior

Progresivas	Km 29+260 A Km 29+440
Tipo de proceso	Deslizamiento de talud superior
Long. afectada	180 m.
Riesgo	Deslizamiento de talud activo
Caract. del trazo	En Curva
Ancho de plataforma	5.00 m. aprox.
Talud superior	<p>Altura : >20 m.</p> <p>Pendiente : 75° -85^a aprox talud superior.</p> <p>Material : conformado por deposito cuaternario de cobertura (coluvial), con clastos sub angulosos a sub redondeados, de diferentes diámetros de rocas metamórficas, de diferentes diámetros de 5” a 10”, dispuestos sobre el afloramiento rocoso de roca metamórfica fracturada, material de poca consolidación.</p>
Descripción	<p>Deslizamiento activo tipo de deslizamiento rotacional apreciándose la ruptura del talud, grietas tensionales de coronación, cuerpo de escape, presenta bloques de roca con</p>

material gravoso arcilla – limosa poco consolidado, talud con un ángulo de reposo pronunciado donde se viene desprendiendo de la parte superior bloques de material con presencia de cobertura y vegetación, presentando, a media altura del talud lado derecho un ojo de agua el cual se infiltra de las partes superiores por la roca.

Solución y/o tratamiento

Estabilidad del talud

Baqueteo del talud

Zanjas de coronación, en la parte superior del cuerpo deslizando

Canalización del ojo de agua.

Reforestación con vegetación natural de la zona, grava

Construcción de muro seco o gaviones para sostenimiento del cuerpo deslizando (el más rentable y económico para la obra)

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 8: *Deslizamiento activo compuesto por material de cobertura limoarcillosa con clastos de rocas pizarras, dispuestas sobre afloramiento rocoso - Km 29+260 a Km 29+440.*



Fotografía 9: *Deslizamiento activo compuesto por material de cobertura limoarcillosa, apreciándose la inclinación de árboles - Km 29+260 A Km 29+440.*

5.4.2. Sectores comprometidos

De la evaluación de geodinámica interna se determinó según el grado de afectación a la vía según el siguiente inventario:

- ✓ Sector Comprometido N°01 deslizamiento de talud superior - Km 00+465 A Km 00+565
- ✓ Sector Comprometido N°02 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 0+640 a Km 0+675
- ✓ Sector Comprometido N°03 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 00+835 a Km 01+185.
- ✓ Sector Comprometido N°04 deslizamiento de talud superior - Km 00+980 a Km 01+160.
- ✓ Sector Comprometido N°05 deslizamiento de talud superior - Km 01+395 a Km 01+450.
- ✓ Sector Comprometido N°06 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso Km 3+020 a Km 3+085



- ✓ Sector Comprometido N°07 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso Km 3+630 a Km 3+700
- ✓ Sector Comprometido N°08 deslizamiento de talud superior - Km 06+160 a Km 06+215
- ✓ Sector Comprometido N°09 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso Km 07+080 a Km 08+020
- ✓ Sector Comprometido N°010 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 07+015 a Km 07+150
- ✓ Sector Comprometido N°011 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso Km Km 07+830 a Km 08+020
- ✓ Sector Comprometido N°012 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 08+050 a Km 08+150
- ✓ Sector Comprometido N°013 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 08+215 a Km 08+285
- ✓ Sector Comprometido N°014 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 09+095 a Km 09+118
- ✓ Sector Comprometido N°015 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 09+530 a Km 09+560
- ✓ Sector Comprometido N°016 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 09+660 a Km 09+720
- ✓ Sector Comprometido N°017 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 10+020 a Km 10+090



- ✓ Sector Comprometido N°018 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 10+190 a Km 10+270
- ✓ Sector Comprometido N°019 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 10+335 a Km 10+370
- ✓ Sector Comprometido N°020 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 11+300 a Km 11+340
- ✓ Sector Comprometido N°021 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 11+940 a Km 12+200
- ✓ Sector Comprometido N°022 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 17+800 a Km 17+845
- ✓ Sector Comprometido N°23 deslizamiento de talud superior - Km 19+875 a Km 19+995
- ✓ Sector Comprometido N°24 deslizamiento de talud superior. - Km 21+820 a Km 21+940
- ✓ Sector Comprometido N°25 deslizamiento de talud superior. -Km 22+850 a Km 22+900
- ✓ Sector Comprometido N°26 deslizamiento de talud superior. -Km 23+990 a Km 24+015
- ✓ Sector Comprometido N°27 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 24+260 a Km 24+410
- ✓ Sector Comprometido N°28 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 25+160 a Km 25+400



- ✓ Sector Comprometido N°29 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 25+420 a Km 25+520
- ✓ Sector Comprometido N°30 deslizamiento de talud superior. - Km 25+800 a Km 25+840
- ✓ Sector Comprometido N°31 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 26+475 a Km 26+490
- ✓ Sector Comprometido N°32 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 26+740 a Km 26+790
- ✓ Sector Comprometido N°33 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 26+840 a Km 26+900
- ✓ Sector Comprometido N°34 caída de detritos - Km 27+240 a Km 27+270
- ✓ Sector Comprometido N°35 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 27+350 a Km 27+430
- ✓ Sector Comprometido N°36 caída de detritos - Km 27+440 a Km 27+500
- ✓ Sector Comprometido N°37 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 27+580 a Km 27+660
- ✓ Sector Comprometido N°38 caída de detritos - Km 27+820 a Km 27+920
- ✓ Sector Comprometido N°39 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 28+250 a Km 28+280
- ✓ Sector Comprometido N°40 caída de detritos - Km 28+540 a Km 28+680
- ✓ Sector Comprometido N°41 caída de detritos - Km 28+880 a Km 29+020
- ✓ Sector Comprometido N°42 desprendimiento de roca, afloramiento rocoso - Km 29+480 a Km 30+300



- ✓ Sector Comprometido N°43 caída de detritos Km 31+090 A Km 31+160

5.4.3. Sectores vulnerables

De la evaluación de geodinámica interna se determinó algunos puntos donde al momento de realizar el corte de la ampliación de la vía se tendrá zonas posibles a inestabilidad se tiene el siguiente inventario:

- ✓ Sector Vulnerable N°01 - Suelo Inestable Posible Deslizamiento De Talud Superior. - Km 01+770 A Km 01+940.
- ✓ Sector Vulnerable N°02 - Suelo Inestable Posible Deslizamiento De Talud Superior. - Km 02+240 A Km 02+480.
- ✓ Sector Vulnerable N°03 - Suelo Por Caída De Derrubios, Talud Superior. - KM 08+440 A KM 08+770.

Tabla 13: Sector vulnerables N° 01: suelo inestable posible deslizamiento de talud superior.

Progresivas	- Km 01+770 a Km 01+940
Tipo de proceso	- Suelo inestable posible deslizamiento de talud superior.
Long. afectada	- 170 m.
Riesgo	-Deslizamiento de talud superior, zona vulnerable. Al corte de sobre ancho.
Caract. del trazo	-En Curva y Tangente
Ancho de plataforma	- 4.50 – 5.00 m. aprox. - Altura : >15 m. -Pendiente : >45° - 50°aprox talud superior. -Materiales : está compuesto por material limo arcilloso, con presencia de clastos de diferentes diámetros, en su mayoría la su matriz del material es limosa de poca consolidación motivo por el cual es susceptible a deslizamientos o desprendimientos del material de cobertura con clastos de roca sub angulosa de rocas sub angulosas de pizarras grises provenientes del desprendimiento de los picos
Talud superior	

	poco traslado deposito abrupto efecto de la gravedad clastos de 2" a 10".
Talud inferior	- Altura : > 20 m. -Pendiente : 45°- 50° aprox talud. -Materiales : deposito coluvial proveniente de deposiciones de la erosión de la parte superior.
Descripción	Esta zona puede encontrarse comprometida al corte del talud en el ensanchamiento de la vía. Inestabilidad del ángulo de reposo del talud de cobertura se aprecia deslizamiento tipo reptación gradual y lento
Solución y/o tratamiento	-perfilado y banqueteo poca afección a la vía

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 10: Zona susceptible a deslizamiento material de cobertura poca consolidación Km 01+770 a Km 01+940.



Fotografía 11: Vista panorámica del talud susceptible a deslizamiento, apreciándose los flujos de detritos provenientes de las partes altas Km 01+770 a Km 01+940.

Tabla 14: Sector vulnerables n° 03: suelo inestable caída de derrubios de talud superior.

Progresivas	- Km 02+240 A Km 02+480
Tipo de proceso	- Suelo inestable posible deslizamiento de talud superior.
Long. afectada	- 240 m.
Riesgo	-Deslizamiento de talud superior, zona vulnerable. Al corte de sobre ancho.
Caract. del trazo	-En Curva
Ancho de plataforma	- 4.50 – 5.00 m. aprox.
Talud superior	- Altura : >50 m. -Pendiente : >60° - 65°aprox talud superior. -Materiales : compuesto por material gravoso con clastos de fragmento de rocas intercaladas con bancos de material limo-arcilloso, de poca consolidación durante su deposición roca correspondiente a pizarras de las formaciones aflorantes en los picos a 10”.
Descripción	Esta zona puede encontrarse comprometida al corte del talud en el ensanchamiento de la vía. Inestabilidad del ángulo de reposo del talud de cobertura se aprecia deslizamiento tipo reptación gradual y lento
Solución y/o tratamiento	-perfilado y banqueteo poca afección a la vía

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 12: Vista panorámica del talud susceptible a deslizamiento, apreciándose depósitos de materiales de cobertura, clastos sub angulosos de diferentes diámetros de pizarras provenientes de desprendimientos de rocas de los picos Km 02+240 a Km 02+480.

Tabla 15: Sector vulnerables n° 03: suelo inestable caída de derrubios de talud superior.

Progresivas	- Km 08+440 a Km 08+770
Tipo de proceso	- Suelo por caída de derrubios, talud superior.
Long. afectada	- 330 m.
Riesgo	-caída de derrubios sobre plataforma.
Caract. del trazado	-En Curva
Ancho de plataforma	- 4.50 – 5.00 m. aprox.
Talud superior	- Altura : >50 m.
	-Pendiente : >45° - 60°aprox talud superior.
Descripción	-Materiales : compuesto por material gravoso con clastos de fragmento de rocas de diferentes diámetros, las cuales no presentan material cohesivo, poco compacto altamente inestable al corte de talud
	Esta zona puede encontrarse comprometida al corte del talud en el ensanchamiento de la vía. Inestabilidad por el tipo de material sin cohesión de poca compactación material compuesto por gravas de diferentes diámetros, con ausencia de ligante, clastos de pizarras provenientes de la desintegración del afloramiento rocoso superior
Solución y/o tratamiento	-perfilado y banqueteo poca afección a la vía - limpieza de la plataforma.

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 13: *Flujo de detritos, en el tramo de la proveniente de la desintegración gradual al intemperismo de las montañas aledañas km 8+440 a km 8+770.*



CAPÍTULO VI HIDROLOGIA

6.1. Información meteorológica (estaciones).

La información empleada en este estudio proviene de dos instituciones: el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), cuyos datos se descargaron desde su página web (incluyendo datos históricos hasta el año 2000), constituyendo el punto de partida de nuestro análisis. Además, estos datos poseen un valor estadístico de gran relevancia, con una antigüedad superior a 30 años, lo que permite proyectar futuros eventos con mayor certeza.

Las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente se encuentran cerca del área de estudio. Para llevar a cabo un análisis de la hidrología local en nuestra área de investigación, la red meteorológica está compuesta por estas estaciones.

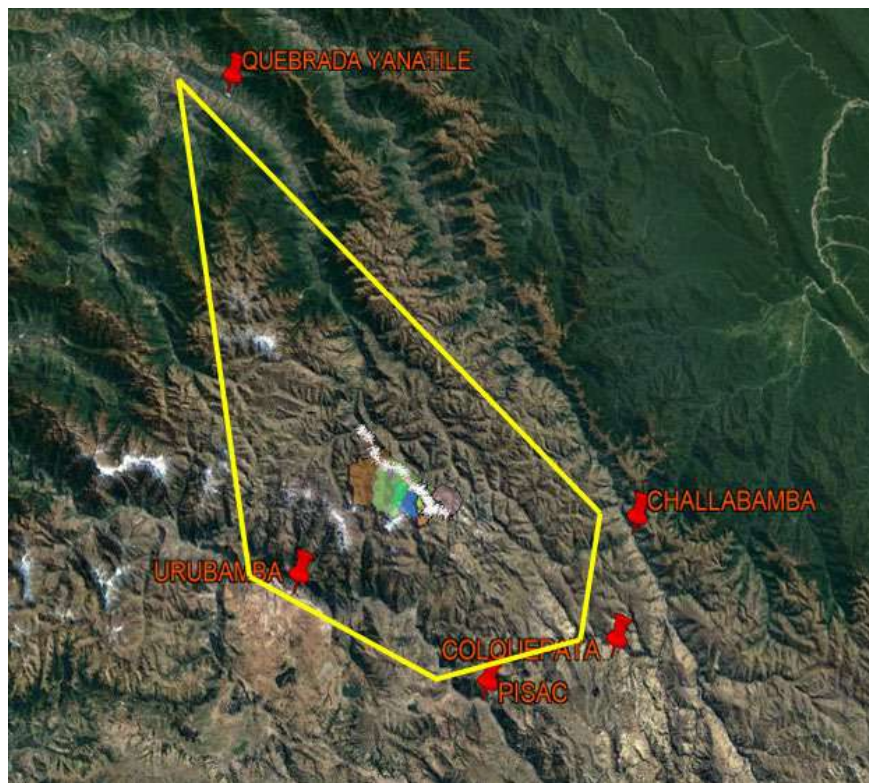


Figura 16: *Ubicación de estaciones meteorológicas y regionalización de información.
(Fuente: Elaboración Propia)*

Es necesario tener especial precaución al seleccionar las estaciones meteorológicas para la regionalización, ya que algunas de ellas, debido a su altitud, pueden distorsionar los valores promedio para este proceso.



Dado que nuestra área de estudio se ubica en el tramo del camino vecinal CU-709, entre Quellopuito y Lares CU-593, donde no existe ninguna estación meteorológica, utilizaremos la información proveniente de las estaciones meteorológicas más cercanas.

Las estaciones climatológicas previamente mencionadas están ubicadas cerca del área de investigación. Para llevar a cabo un examen de la hidrología regional de nuestra área de estudio, la red climatológica está compuesta por estas estaciones meteorológicas:

Tabla 55: Estaciones pluviométricas.

Tabla 16: *Estaciones pluviométricas.*

N°	Estación	Región	Provincia	Distrito	Lat	Long	Altura (msnm)
1	Challabamba.	Cusco	Paucartambo	Challabamba	13°13'3.15"	71°38'57.77"	2803
2	Colquepata.	Cusco	Paucartambo	Colquepata	13°21'47.27"	71°40'24.1"	3696
3	Quebrada Y.	Cusco	Calca	Yanatile	12°40'43.82"	72°16'42.55"	1183
4	Pisac.	Cusco	Calca	Pisac	13°25'10.2"	71°51'3.1"	2990
5	Urubamba.	Cusco	Urubamba	Urubamba	13°18'18.6"	72°7'28.4"	2850

Fuente: Elaboración Propia.

6.1.1. Estación meteorológica de Challabamba 100024.

Esta estación está situada en el distrito de Challabamba, en la provincia de Paucartambo, en el departamento de Cusco. Está operativa desde el año 2000, y sus coordenadas geográficas son:

LATITUD	13°13'3.15"S.
LONGITUD	71°38'57.77"W.
ALTITUD	2803m.s.n.m.

La información meteorológica que presenta dicha estación es la siguiente:

- ✓ Registros pluviométricos de precipitación
- ✓ Registros de temperatura: media mensual, máxima, media y mínima (□C).

- ✓ Registros de vientos: dirección y velocidad de los vientos (m/seg).

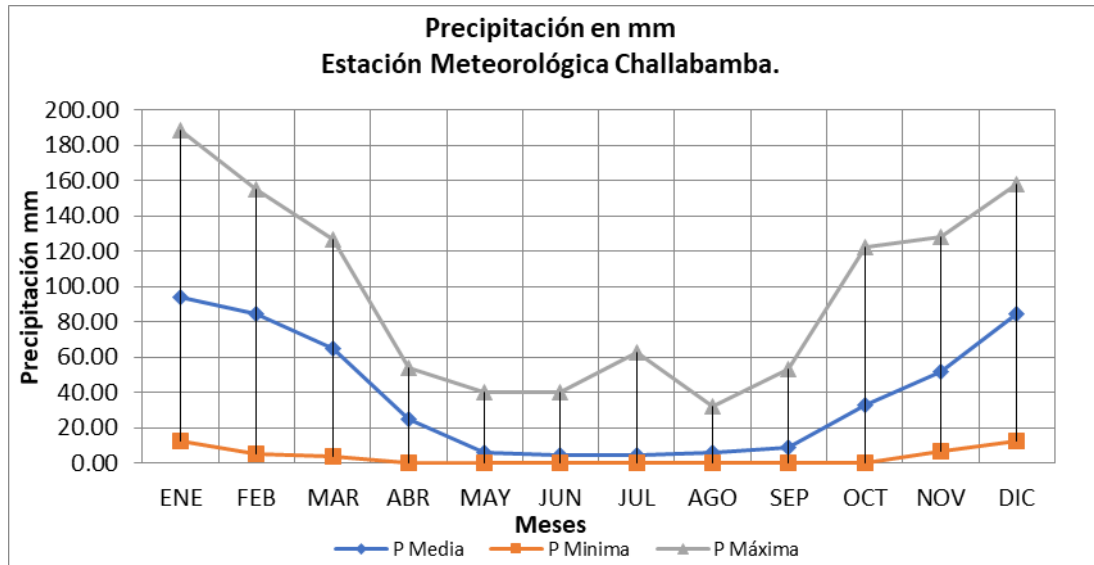


Figura 17: Precipitación media mensual estación meteorológica de challabamba (Fuente: SENAMHI-2000).

6.1.2. Estación meteorológica de Colquepata – 113116.

Esta estación está situada en el distrito de Colquepata, en la provincia de Paucartambo, del departamento de Cusco. Está operativa desde el año 1964, y sus coordenadas geográficas son:

LATITUD	13°21'47.27"S.
LONGITUD	71°40'24.1"W.
ALTITUD	3696m.s.n.m.

La información meteorológica que presenta dicha estación es la siguiente:

- ✓ Registros pluviométricos de precipitación.
- ✓ Registros de temperatura: media mensual, máxima, media y mínima (□C).
- ✓ Registros de vientos: dirección y velocidad de los vientos (m/seg).

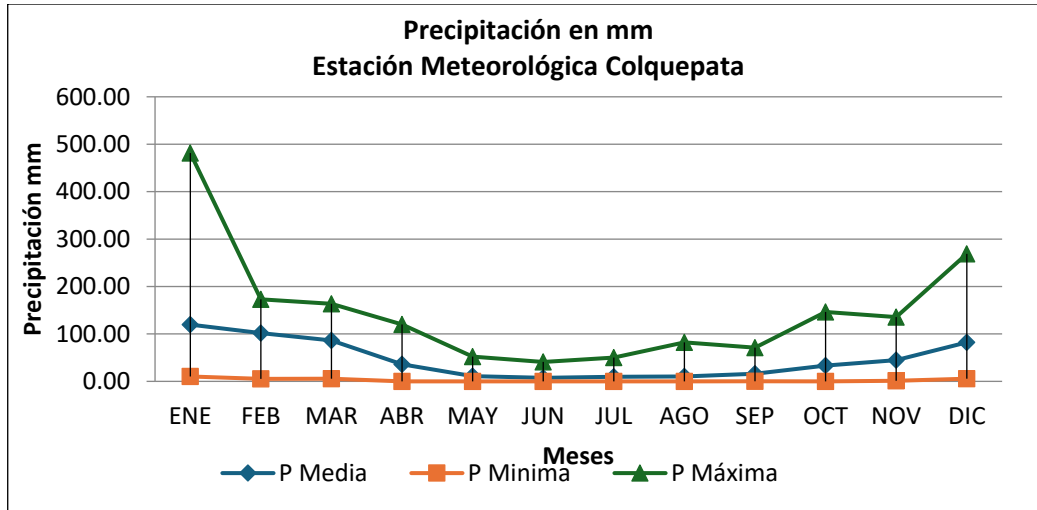


Figura 18: Precipitación acumulada mensual estación meteorología colquepata (Fuente: SENAMHI-2000)

6.1.3. Estación meteorológica de Quebrada Yanatile – 112154.

Esta estación está localizada en el distrito de Yanatile, en la provincia de Calca, del departamento de Cusco. Está en funcionamiento desde el año 1999, y sus coordenadas geográficas son:

LATITUD	12°40'43.82" S.
LONGITUD	72°16'42.55" W.
ALTITUD	1183m. s. n. m.

La información meteorológica que presenta dicha estación es la siguiente:

- ✓ Registros pluviométricos de precipitación.
- ✓ Registros de temperatura: media mensual, máxima, media y mínima (°C).
- ✓ Registros de vientos: dirección y velocidad de los vientos (m/seg).

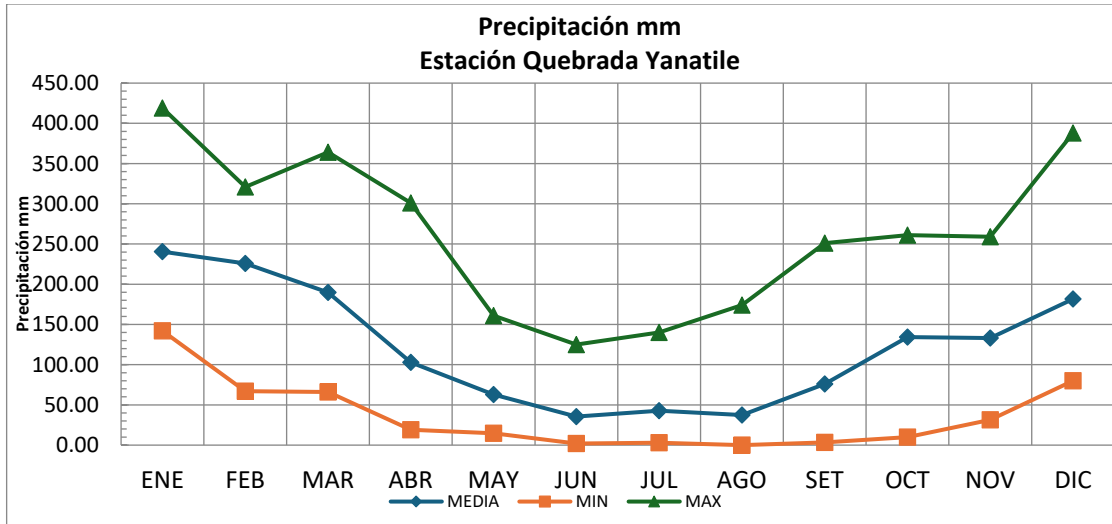


Figura 19: Precipitación media mensual estación meteorológica de quebrada Yanatile (Fuente: SENAMHI-2000)

6.1.4. Estación meteorológica de Pisac Código 100101.

Esta estación está situada en el distrito de Pisac, en la provincia de Calca, del departamento de Cusco. Está en operación desde el año 1964, y sus coordenadas geográficas son:

LATITUD	13°25'10.2"S.
LONGITUD	71°51'3.1"W.
ALTITUD	2990m.s.n.m.

La información meteorológica que presenta dicha estación es la siguiente:

- ✓ Registros pluviométricos de precipitación.
- ✓ Registros de temperatura: media mensual, máxima, media y mínima (□C).
- ✓ Registros de vientos: dirección y velocidad de los vientos (m/seg).

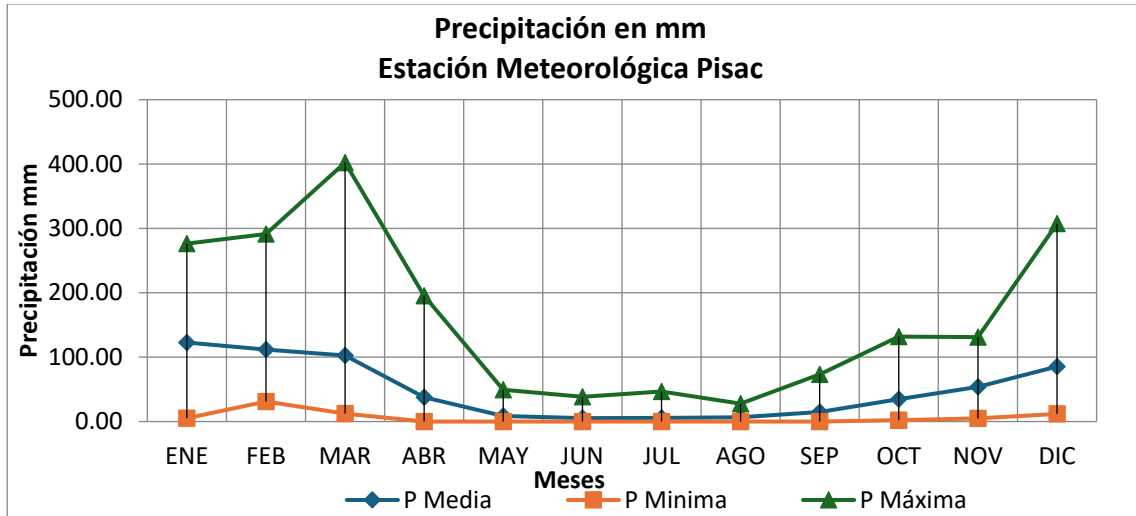


Figura 20: Precipitación media mensual estación meteorológica de quebrada yanatile
(Fuente: SENAMHI-2000)

6.1.5. Estación meteorológica de Urubamba Código 113034.

Esta estación está emplazada en el distrito de Urubamba, en la provincia de Urubamba, del departamento de Cusco. Está operativa desde el año 1980, y sus coordenadas geográficas son:

LATITUD	13°18'18.6"S.
LONGITUD	72°7'28.4"W.
ALTITUD	2850m.s.n.m.

La información meteorológica que presenta dicha estación es la siguiente:

- ✓ Registros pluviométricos de precipitación.
- ✓ Registros de temperatura: media mensual, máxima, media y mínima.
- ✓ Registros de vientos: dirección y velocidad de los vientos (m/seg).

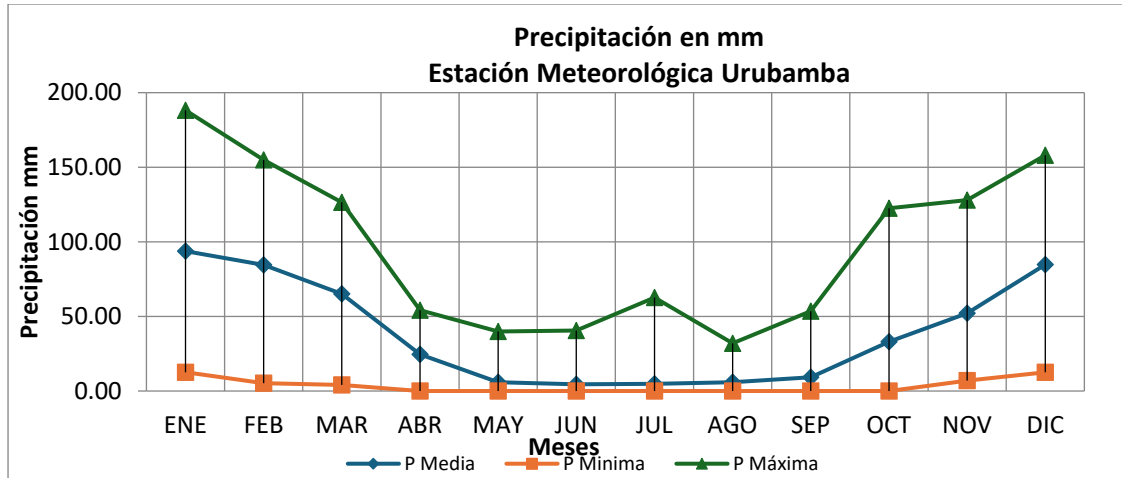


Figura 21: Precipitación media mensual estación meteorológica de Urubamba. (Fuente: SENAMHI-2000)

6.2. Evaluación hidrológica

6.2.1. Cálculo de parámetros meteorológicos.

El cálculo de los distintos parámetros climatológicos se llevó a cabo siguiendo el método utilizado en la literatura especializada, con el propósito de identificar los parámetros necesarios para determinar las características hidrológicas del área de estudio.

6.2.2. Antecedentes de información meteorológica.

La precipitación es una de las variables más cruciales que afectan la producción agrícola, dado que la lluvia es generalmente la única fuente de humedad disponible para el suelo. La distribución espacial de la precipitación anual promedio muestra un patrón decreciente de norte a sur. En términos generales, la isoyeta de 5600 mm se localiza al sur del departamento de Cusco, en la frontera con los departamentos de Madre de Dios y Puno. La isoyeta de 200 mm se encuentra en la región norte, en la frontera con los departamentos de Ucayali y Ayacucho.

El ciclo hidrológico es uno de los conceptos fundamentales de la hidrología, que implica el movimiento o traslado de masas de agua de manera continua, a través de distintos estados o fases.

La naturaleza cíclica de este movimiento permite analizarlo desde cualquiera de sus fases, desde el agua en estado de vapor en la atmósfera, hasta su condensación, que da lugar a las precipitaciones en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve). La región que abarca la



cuenca del Río Lares presenta la forma de una cuenca alargada, con laderas que se elevan gradualmente hasta las divisorias que la separan de las cuencas adyacentes.

La línea de cumbres que delimita esta área muestra altitudes que oscilan entre 3,196.00 y 4,079.00 metros sobre el nivel del mar, siendo las elevaciones más altas las que se encuentran en el flanco suroccidental.

6.2.3. Precipitación máxima en 24 hr.

Para examinar las crecidas máximas en el área de estudio, evaluaremos las precipitaciones máximas registradas en la cuenca en cuestión. Para ello, utilizaremos la información disponible en la estación climatológica mencionada anteriormente, siendo estas las principales:

6.2.3.1. Estación meteorológica de Challabamba 100024.

Entre las importantes se encuentra la estación climatológica de Challabamba, cuya información sobre el parámetro de precipitación máxima en 24 horas es:

Tabla 17: Precipitación máxima en 24 hr. estación Challabamba.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	66.70	43.80	23.80	18.50	6.60	9.30	0.70	8.10	8.20	15.10	6.40	24.30	230.50
2001	38.70	27.90	37.90	46.60	16.00	10.10	18.40	12.50	3.60	23.20	22.50	18.90	276.30
2002	36.80	29.40	32.00	26.50	5.80	13.80	22.00	6.80	15.30	17.10	27.80	33.80	267.10
2003	18.20	19.30	26.00	46.60	26.20	2.50	4.70	14.40	6.50	13.60	18.00	18.00	214.00
2004	26.60	15.20	19.20	0.00	5.00	9.20	13.80	13.50	7.90	29.60	7.70	10.70	158.40
2005	4.20	40.40	25.20	24.50	5.80	0.20	2.20	6.20	12.30	3.00	14.30	11.40	149.50
2006	52.60	29.60	21.60	27.00	0.40	4.00	0.00	5.20	24.60	42.20	32.40	31.20	270.80
2007	19.40	25.60	36.80	42.40	12.20	2.40	8.80	7.80	0.00	0.00	18.60	36.10	210.10
2008	23.60	21.60	19.20	16.20	5.90	12.80	13.60	0.00	7.80	28.30	26.80	37.60	213.40
2009	21.20	28.30	25.80	11.90	8.20	0.00	4.20	6.30	3.50	3.20	62.40	24.10	198.90
2010	21.20	23.40	47.70	17.60	4.60	9.40	4.80	3.20	6.20	18.50	8.90	10.20	175.70
2011	17.60	34.20	23.90	48.60	5.20	12.40	8.60	4.60	10.20	16.20	13.80	36.60	231.90
2012	14.40	36.90	34.80	11.20	4.80	3.20	1.80	0.00	9.20	14.20	14.20	41.50	186.20
2013	33.70	26.40	22.30	11.90	13.30	4.80	2.80	17.00	3.00	19.80	13.60	73.00	241.60
2014	31.00	27.80	28.40	36.50	7.30	0.10	1.30	13.81	6.40	0.00	0.00	0.00	152.61
2015													0.00
2016			23	11.4	8.9	5.5	9.4	17.8	14.2	21.2			111.40
2017													0.00
2018	39.1	24.7	24	10.3	4.2	23	29.6	10.7	1.6	23	28.5	15.1	233.80
2019	36.9	34.5	21.5	15.8	19.5	12.5	7.5	8.7	11.5		37.6	33.7	239.70
2020	31.5	36.9	46.6	10	10.8	23.4	3.3	4.2	6.5	7.4	10	31.5	222.10
2021	63.1	49.1	19.9	16.8	9.8	4.4	8.7	6.4	18.6	9	34.8	28	268.60
Nro.DATOS	19.00	19.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	19.00	19.00	19.00	22.00
MEDIA	31.34	30.25	27.98	22.52	9.03	8.15	8.31	8.36	8.86	16.03	20.95	27.14	193.30
DESV.STD	16.05	8.55	8.58	14.36	6.03	6.32	7.80	5.14	5.99	10.93	14.46	15.93	76.09
C.V.	0.51	0.28	0.31	0.64	0.67	0.84	0.94	0.62	0.68	0.68	0.69	0.59	0.39
MIN	4.20	15.20	19.20	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAX	66.70	49.30	47.70	48.60	26.20	23.40	29.60	17.80	24.60	42.20	62.40	73.00	276.30

Fuente: SENAMHI-2000.

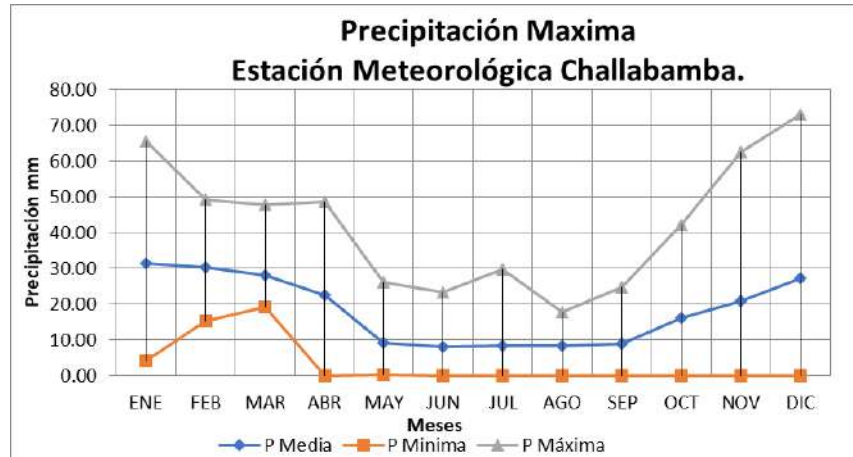


Figura 22: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Challabamba (Fuente: SENAMHI-2000).

6.2.3.2. Estación meteorológica de Colquepata – 113116.

Entre las importantes, se encuentra la estación climatológica de Colquepata, cuya información sobre el parámetro de precipitación máxima en 24 horas es:



Tabla 18: Precipitación máxima en 24 hr. estación Colquepata.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1963													0.00
1964	24.50		15.00	18.50						5.80	11.00	12.80	24.50
1965	30.40	9.10	13.80	24.20	0.00	0.00			14.00		15.70	27.40	30.40
1966	12.30	25.20	11.30	3.20			0.00	2.00	11.60	22.50	15.20	20.30	25.20
1967	8.90	27.50	15.00	9.40	2.50	1.60	6.30	4.40	7.10	12.50	25.00	12.00	27.50
1968	18.40	25.50	11.20	18.00	1.00	13.70	7.90	4.00	4.20	12.20	17.60	17.00	25.50
1969	11.40	24.00	12.30	11.00	2.00	6.80	14.10	1.10	20.60	6.70	28.90	19.30	28.90
1970	40.20	20.30	16.00	18.10	8.60	3.00	5.80	0.01	20.60	12.50	8.70	42.30	42.30
1971	31.80	29.90	26.60	32.70	1.80	2.30	2.60	0.01	0.01	15.30	7.00	15.70	32.70
1972	23.00	8.20	27.00	13.60	3.60	4.20	6.20	4.80	7.60	14.20	19.40	28.20	28.20
1973	34.00	17.90	36.50	14.80	9.90	1.40	6.20	3.70	6.40	4.30	14.90	23.70	36.50
1974	27.70	30.00	15.00	10.80	1.00	18.00	1.00	14.30	1.00	14.20	5.20		30.00
1975	27.30	18.80	12.40	4.40	3.40	0.01	2.00	2.70	8.10	2.10	6.60	16.20	27.30
1976	16.00	13.30	31.50	14.20	5.80	0.01	2.80	6.00	8.30	7.10	5.70	15.00	31.50
1977	26.20	39.70	14.10	6.40	3.20	0.01	5.30	0.01	9.00	7.30	13.70	6.00	39.70
1978	28.60	17.20	9.40	14.80	6.30	3.40	3.30	1.40	11.80	3.80	18.80	21.90	28.60
1979	20.00	15.20	16.20	4.60	1.20	0.01	0.01	5.70	4.10	4.30	23.10	9.30	23.10
1980	24.80	35.80	22.20	5.00	3.40	1.80	2.30	2.30	1.20	19.40	15.30	11.80	35.80
1981	27.00	22.30	7.50	18.40	10.40	1.20	0.01	4.80	20.00	23.10	26.70	18.20	27.00
1982	49.00	21.70	22.30	11.30	3.40	1.80	26.70	3.40	13.60		26.80	9.20	49.00
1983	4.90	12.30	12.30	12.30	1.80	4.40	4.20	3.40	11.70	7.40	12.30	9.20	12.30
1984	28.50	26.50	23.90	13.80	8.40	6.20	10.80	4.10	6.40	4.60	11.10	7.90	28.50
1985	13.60	11.50	17.90	10.60		12.70	1.20	1.00	4.30	6.40	7.90	14.60	17.90
1985	13.60	11.50	17.90	10.60		12.70	1.20	1.00	4.30	6.40	7.90	14.60	17.90
1986	7.50	11.60	10.20	9.00	2.40	4.60	4.60	2.40	7.50	4.10	6.30	5.20	11.60
1987	9.60	6.50	4.60	6.50	7.50	4.60	1.00	0.00	3.10	3.10	6.40	16.50	16.50
1988	10.80	12.90	9.10	10.80	4.20	2.10	0.00	0.00	4.30		1.10	5.70	12.90
1989	17.40	19.60	15.10	10.10	8.70	1.10	0.01	1.10	4.10	4.60	3.50	8.10	19.60
1990	6.40	4.20	4.20	0.01	1.20	4.20	4.20	1.40	1.10	7.40	7.20	9.30	9.30
1991	7.80	6.90	8.10	1.50	4.70	4.60	0.00	0.00	3.20	1.90	2.70	3.00	8.10
1992	2.10	2.20	7.80	7.80	3.40	2.50	2.30	6.80	2.30	3.70	4.70	3.50	7.80
1993	5.20	2.30	2.40	2.30	4.20	2.10	2.40	5.70	2.30	3.00	3.60	3.70	5.70
1994	2.40	3.30	6.60	3.40	1.50	1.10	1.30	0.00	2.20	2.30	2.20	4.50	6.60
1995	2.50	4.40	2.60	2.30	3.50	2.20	1.10	2.30	3.50	3.20	2.30	2.50	4.40
1996	4.70	2.30	2.30	1.20	0.00	0.00	0.00	2.20	1.20	1.20	1.20	2.40	4.70
1997	2.50	5.70	4.40	2.30	2.20	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	1.20	5.70
1998	3.40	25.30	5.20	0.10	1.10	2.20	0.10	1.10	1.50	3.20	5.20	5.00	25.30
1999	11.20	25.10	20.10	4.40	2.10	1.20	2.10	1.20	5.10	4.40	3.10	33.30	33.30
2000	18.40	18.10	20.10	11.30	1.20	1.20	1.20	1.10	2.30	16.50	0.60	14.30	20.10
2001	33.60	21.80	21.60	28.80	17.60	0.70	9.40	10.50	9.40	24.40	33.00	12.40	33.60
2002	27.70	35.50	18.20	11.50	4.10	8.90	10.30	5.70	10.80	24.50	12.20	18.60	35.50
2003	17.70	48.20	19.80	12.50	7.00	5.70	1.80	7.40	1.60	5.60	8.50	24.90	48.20
2004	26.10	27.60	11.70	3.30	6.20	3.00	12.80	10.00	8.40	16.50	13.60	16.20	27.60
2005	13.00	26.30	13.10	14.60	7.20	0.00	4.40	3.10	4.30	5.30	7.70	15.50	26.30
2006	37.50	14.60	15.50	13.10	1.50	0.50	0.00	14.30	3.40	19.40	14.00	16.50	37.50
2007	14.20	15.50	26.70	12.10	6.20	0.40	3.70	5.50	4.30	8.30	14.00	18.80	26.70
2008	21.50	26.00	21.10	9.10	8.60	10.60	3.10	15.80	4.90	17.80	11.50	16.30	26.00
2009	34.00	22.20	25.00	7.40	0.70	0.00	8.20	1.70	4.50	2.00	30.90	12.40	34.00
2010	33.20	16.00	39.00	6.80	2.20	7.50	5.00	1.30	5.50	19.00	8.80	32.70	39.00
2011	25.30	24.10	17.40	17.80	5.50	9.80	10.10	7.00	9.70	12.70	11.20	14.20	25.30
2012	17.10	29.40	16.60	6.20	4.50	2.70	1.80	2.50	10.60	3.70	14.00	33.80	33.80
2013	34.20	22.80	23.20	14.20	5.80	6.20	3.40	14.50	6.20	18.90	8.20	35.00	35.00
2014	26.20	11.90	22.00	15.10	4.80	4.30	0.00						26.20
2015													0.00
2016													0.00
2017	20.00	22.30	19.40	10.70	12.20	1.50	0.60	10.00	5.00	9.80	15.30	12.80	22.30
2018	24.30	37.00	20.70	7.20	1.10	11.10	14.60	8.60	5.60	29.40	14.00	19.40	37.00
2019	27.80	22.20	29.80	12.40	16.20	18.00	3.10	0.40	9.20	27.40	28.20	20.80	29.80
2020	19.00	32.70	23.50	4.60	10.30	4.20	0.50	0.00	0.00	14.00			32.70
2021	33.70	29.00	14.40	12.30	3.00	2.70	1.50	0.20	15.00	7.10	29.20	46.00	46.00
N° Datos	56.00	55.00	56.00	56.00	53.00	54.00	54.00	54.00	54.00	52.00	54.00	53.00	59.00
Media	20.12	19.77	16.27	10.41	4.72	3.98	4.16	3.96	6.57	10.22	12.31	15.90	24.86
Desv. Est.	11.26	10.45	8.37	6.71	3.96	4.37	4.94	4.16	5.06	7.72	8.68	10.21	12.42
Varianza	126.69	109.24	70.08	44.97	14.90	19.11	24.36	17.34	25.63	59.54	75.39	104.29	154.17
Minima	2.10	2.20	2.30	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.60	1.20	0.00
Máxima	49.00	48.20	39.00	32.70	17.60	18.00	26.70	15.80	20.60	29.40	33.00	46.00	49.00

Fuente: SENAMHI-2000.

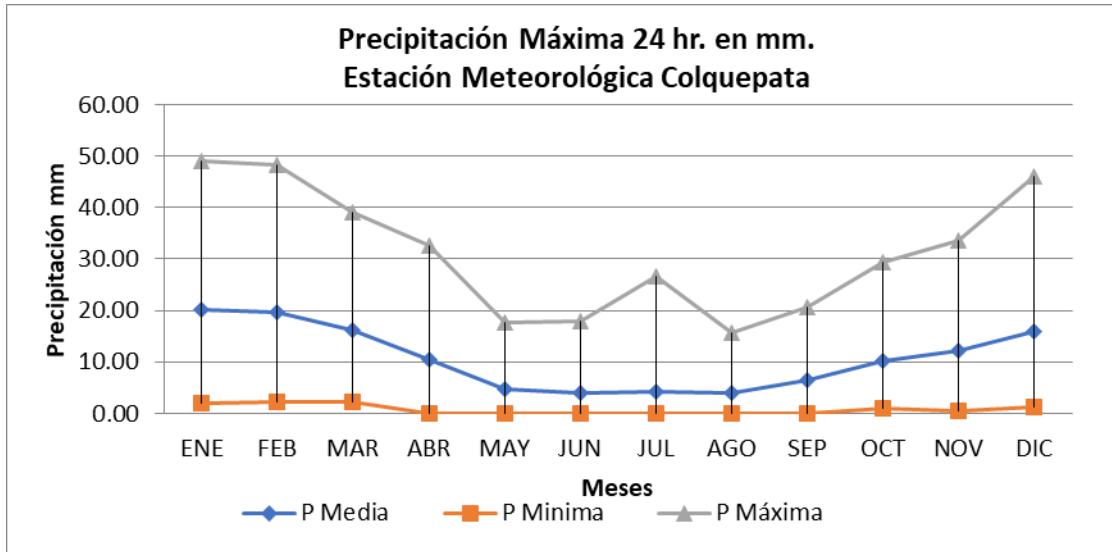


Figura 23: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Colquepata (Fuente: SENAMHI-2000).

6.2.3.3. Estación meteorológica de Quebrada Yanatile – 112154.

Entre las más destacadas, se halla la estación climática de Quebrada Yanatile, cuya información sobre el parámetro de precipitación máxima en 24 horas es:



Tabla 19: Precipitación máxima en 24 hr. estación quebrada Yanatile.

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	20.30	34.60	29.40	23.00	11.00	14.50	12.60	8.20	21.90	10.00	30.30	38.30	38.30
2001	31.00	38.10	34.70	16.80	26.20	29.50	19.30	6.20	22.20	24.80	13.60	34.70	38.10
2002	51.60	32.50	26.00	25.80	26.50	9.80	24.00	12.00	13.60	46.50	30.00	29.70	51.60
2003	27.30	53.50	42.20	21.00	33.00	7.00	2.80	29.30	19.20	78.70	22.30	64.50	78.70
2004	69.00	38.00	37.70	41.00	10.00	10.50	11.00	35.90	19.40	19.30	37.90	24.10	69.00
2005	31.70	41.80	36.80	24.00	2.60	0.80	2.50	23.60	27.50	13.60	26.00	36.40	41.80
2006	68.20	61.30	51.00	26.50		14.00	10.50	26.70	10.30	31.50	30.90	41.40	68.20
2007	48.00	17.50	46.20	44.20	33.20	6.50	23.50	3.10	24.00	41.60	52.00	26.00	52.00
2008	48.60	35.40	45.50	40.00	13.50	2.10	4.60	5.80	43.20	51.00	48.50	25.80	51.00
2009	22.30	49.00	43.30	31.40	8.80	7.90	9.20	16.90	18.80	72.70	36.40	57.40	72.70
2010	52.30	30.90	49.90	39.20	10.70	9.20	12.80	14.20	15.90	38.00	14.90	33.80	52.30
2011	29.70	26.00	34.20	37.20	56.60	3.20	18.20	24.50	30.80	61.40		46.60	61.40
2012	15.90	37.70	19.40	26.80	31.50	11.60	7.90	9.10	5.70	28.90	27.00	44.30	44.30
2013	53.50	29.30	38.00	24.70	6.90	8.20	14.50	20.20	16.80	52.10	38.50	51.20	53.50
2014													0.00
2015													0.00
2016													0.00
2017	28.80	38.00	42.30	22.00	18.20	0.90	8.90	32.60	15.60	13.50	25.10	20.70	42.30
2018	27.10	26.50	40.00	53.90	24.60	39.20	29.80	16.20	2.70	66.00	38.40	31.70	66.00
2019	39.70	55.80	31.20	18.00	17.30	16.60	18.00	17.60	7.90	30.00	36.40	50.70	55.80
2020	36.90	40.50	46.60	10.00	10.80	23.40	3.30	4.20	6.50	7.40	10.00	31.50	46.60
2021	63.10	49.10	19.90	16.80	9.80	4.40	8.70	6.40	18.60	9.00	34.80	28.00	63.10
N° Datos	19.00	19.00	19.00	19.00	18.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	18.00	19.00	22.00
Media	40.26	38.71	37.59	28.54	19.51	11.54	12.74	16.46	17.93	36.63	30.72	37.73	47.58
Desv. Est.	16.29	11.12	9.24	11.26	13.33	9.96	7.71	10.10	9.64	22.46	11.20	12.03	22.33
Variación	265.31	123.70	85.43	126.81	177.73	99.27	59.52	101.98	92.90	504.42	125.48	144.74	498.45
Mínima	15.90	17.50	19.40	10.00	2.60	0.80	2.50	3.10	2.70	7.40	10.00	20.70	0.00
Máxima	69.00	61.30	51.00	53.90	56.60	39.20	29.80	35.90	43.20	78.70	52.00	64.50	78.70

Fuente: SENAMHI-2000.

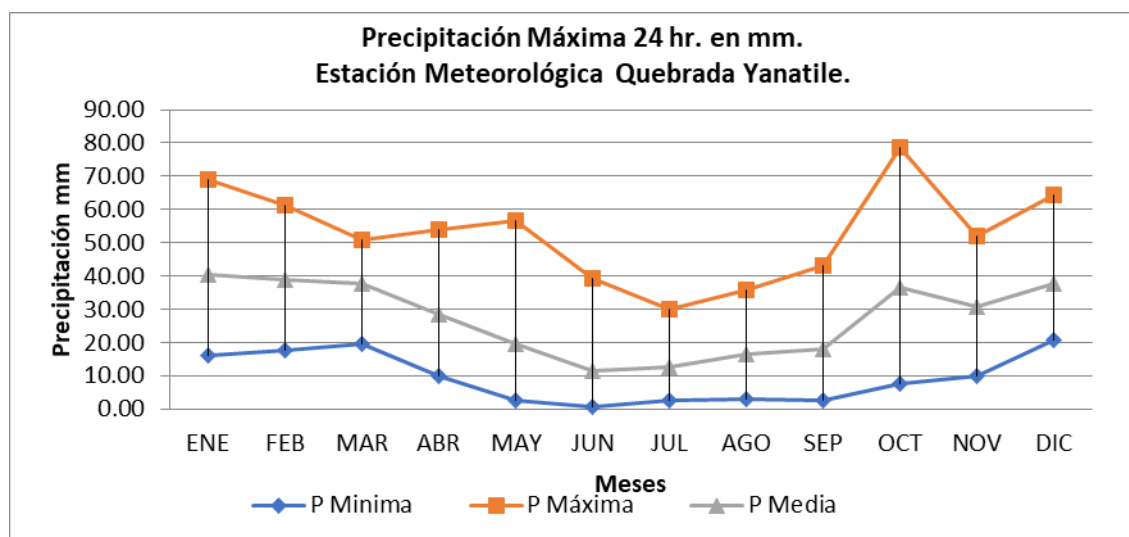


Figura 24: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación quebrada Yanatile (Fuente: SENAMHI-2000).



6.2.3.4. Estación meteorológica de Pisac Código 100101.

Entre las más relevantes se encuentra la estación climática de Pisac, cuya información sobre el parámetro de precipitación máxima en 24 horas es:

Tabla 20: Precipitación máxima en 24 hr. estación Pisac.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1963												15.00	15.00	
1964	25.00	25.00	11.00	3.00	4.00	0.00	0.00	0.00	15.00	9.00	10.00	7.50	109.50	
1965	8.00	7.20	13.00	9.00	0.00	0.00	2.50	0.00	8.00	6.00	8.00	24.00	85.70	
1966	15.00	8.00	8.00	2.00	5.00	0.00	2.00	0.00	13.50	6.00	7.00	12.00	78.50	
1967	21.00	19.00	25.00	0.00	13.00	2.30	7.20	4.20	4.20	7.20	15.10	14.00	132.20	
1968	23.50	22.40	16.60	7.10	1.00	4.20	11.60	0.20	5.20	7.50	25.60	7.20	132.10	
1969	17.60	13.50	21.70	13.90	0.00	9.20	4.20	4.10	7.20	15.30	19.60	33.60	159.90	
1970	40.50	32.20	40.20	26.30	4.20	4.20	4.10	6.20	16.20	24.40	12.10	40.00	250.60	
1971	22.40	33.40	25.10	21.10	4.10	2.40	2.10	7.00	0.00	21.20	6.00	7.50	152.30	
1972	23.40	15.30	21.50	9.10	3.10	0.00	3.10	3.20	10.20	4.20	6.30	24.10	123.50	
1973	27.20	24.70	35.40	18.30	6.30	4.20	7.40	4.10	4.00	7.20	14.00	20.40	173.20	
1974	15.60	25.20	14.40	11.40	2.10	0.00	1.00	7.10	4.10	4.00	4.20	12.40	101.50	
1975	12.30	12.40	13.10	8.20	9.30	2.10	0.00	0.00	7.30			11.10	75.80	
1976	15.20	12.40	18.70	10.30	21.60	3.20	2.10	2.00	7.30	4.10	7.20	9.20	113.30	
1977	24.00	16.40	11.00	6.40	0.00	0.00	4.00	4.10	6.30	5.20	24.10	7.00	106.50	
1978	20.40	16.20	16.20	12.20	7.30	0.00	0.00	0.00	7.30	2.10	10.40	10.20	102.30	
1979	20.00	19.10	21.20	8.10	4.00	5.00	4.00	2.00	6.30	10.20	9.30	21.60	130.80	
1980	12.30	21.30	26.60	20.40	2.00	0.00	0.00	5.10	10.30	10.20	4.00	17.10	129.30	
1981	15.40	24.50	22.40	11.30	4.20	4.20	4.10	3.00	9.30		14.30	18.30	131.00	
1982	24.60	14.20	26.40	17.50	10.00	4.00	1.00	4.00	6.30	8.30	12.00	9.20	137.50	
1983	3.10	8.20		8.20	0.00	2.00	4.60	3.00	5.00	6.20	11.00	9.20	60.50	
1984	11.40							7.20	3.10	7.40	9.40	8.20	46.70	
1985	15.10	26.40	17.50	13.00	4.20	0.00	0.00	4.10	10.30	16.30	25.00	6.20	138.10	
1986	7.40	12.20	12.70	11.60	4.20	0.00	2.10	2.10	2.00	1.10	4.20	4.30	64.90	
1987	25.70	10.20	14.00	4.10	0.00	6.20	6.00	0.00	0.00	4.00		9.20	79.40	
1988	12.90	18.80	27.90	10.70	2.00	0.00	0.00	0.00	2.30	5.00	6.00	16.60	102.20	
1989	12.40	45.00	19.20	9.40	5.00	0.00	2.00	4.10	4.20	7.10	8.20	6.40	123.00	
1990	9.40	24.00	5.20	14.60	4.20	13.20	0.00	3.00	6.40	6.20	16.00	23.40	123.60	
1991	15.00	12.00	13.40	14.20	4.30	6.00	0.00	2.00	2.00	10.00	12.20	13.00	104.10	
1992	21.00	9.20	9.40	9.00	0.00	22.00		8.20	4.00	14.00	23.50	12.80	133.10	
1993	20.40	14.20	5.20	8.00	4.00	4.20	8.20	5.20	2.00	6.00	15.20	18.40	111.00	
1994	25.00	17.40	17.40	8.20	5.30	0.00	0.00	0.00	6.40	24.00	6.00	28.40	138.10	
1995	20.50	14.00	10.00	4.00	4.20	0.00	0.00	0.00	7.00	17.00	7.20	17.00	100.90	
1996	20.00	16.30	13.40	16.30	4.10	0.00	0.00	6.20		19.20	31.50		127.00	
1997		13.00	1.30	2.60	0.00	0.00	0.00	10.10	7.00	4.20	21.60	17.40	77.20	
1998	24.40	17.00	10.00	6.10	2.20	2.10	0.00	0.50	13.50	13.70	17.70	11.00	118.20	
1999	12.40	27.70	9.50	9.20	4.90		2.10	0.00	5.30	7.50	10.10	17.10	106.00	
2000	36.60	18.00	12.50	1.80	2.90	2.00	0.00	1.00	2.90	9.10	6.90	13.50	107.20	
2001	26.20	23.10	18.40	11.20	5.70	0.00	12.80	2.80	2.80	21.80	14.60	17.70	157.10	
2002	17.00	25.00	21.50	11.60	4.20	3.10	20.60	2.90	4.10	7.60	25.80	27.50	170.90	
2003	18.10	15.70	19.50	6.50	1.50	6.80	0.00	12.80	3.50	10.90	5.80	28.80	129.50	
2004	23.70	19.60	17.20	4.80	1.20	6.40	7.20	5.90	10.20	20.30	14.20	25.20	155.90	
2005	23.00	11.00	18.00	13.50	0.00	0.00	1.50	2.00	1.70	3.80	14.10	9.20	97.80	
2006	21.50	17.80	20.00	13.00	0.00	30.00	0.00	5.40	2.50	9.80	11.30	29.00	160.30	
2007	20.90	13.20	28.10	15.50	3.40	0.00	1.40	0.00	2.90	10.30	19.70	20.60	136.00	
2008	22.60	38.70	17.60	2.80	3.30	2.80	0.30	2.00	3.80	12.20	25.90	30.40	162.40	
2009	26.80	19.80	21.30	8.60	0.20	0.00	1.00	0.40	14.90	3.00	38.30	21.00	155.30	
2010	30.60	26.40	20.60	2.50	5.00	1.10	1.40	5.20	1.00	14.40	10.80	39.20	158.20	
2011	24.30	33.60	24.80	7.80	5.30	6.00	4.90	0.40	7.30	7.40	19.30	17.20	158.30	
2012	15.00	29.10	8.80	6.00	0.60	0.50	0.80	0.50	10.20	4.00	27.20	29.30	132.00	
2013	20.60	22.60	19.80	7.50	5.80	3.80	2.50	10.80	2.20	17.60	15.30	36.60	165.10	
2014	19.00	11.80	11.50	21.00	6.20	0.00	0.80	1.20	10.20	17.90	3.30	16.40	119.30	
2015	15.10	10.20	9.20		9.30	0.00	26.80	3.60	8.20	5.20	6.20	15.30	109.10	
2016		20.20	10.20		22.50			5.30	0.00	7.70	14.00	6.80	25.00	111.70
2017	14.80	10.80	27.00	25.60	3.20	3.20	0.80	3.60	3.30	5.50	11.50	9.20	118.50	
2018	26.50	26.60	19.40	10.00	2.00	8.50	7.50	9.00	5.20	14.10	20.30	10.50	159.60	
2019	19.00	12.30	26.70	18.80	8.50	0.30	9.10	0.00	4.80	13.60	18.60	12.70	144.40	
2020	23.00	11.00	13.80	0.00	0.00	0.40	0.90	0.00	0.10	6.70	10.30	18.50	84.70	
2021	20.20	20.30	6.50	6.70	2.60	1.80	0.00	1.80	0.90	7.00	27.00	9.80	104.60	
Nro. DATOS	56.00	56.00	56.00	55.00	57.00	55.00	56.00	58.00	57.00	56.00	56.00	58.00	59.00	
MEDIA	19.71	19.14	17.46	10.16	4.31	3.23	3.41	3.16	5.96	9.97	14.05	17.36	122.04	
DESV. STD	6.75	8.03	7.32	6.09	4.42	5.37	5.06	3.10	3.98	5.83	7.92	8.80	36.35	
C.V.	0.34	0.42	0.42	0.60	1.02	1.66	1.48	0.98	0.66	0.58	0.56	0.51	0.30	
MIN	3.10	7.20	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	3.30	4.30	19.00	
MAX	40.50	45.00	40.20	26.30	22.50	30.00	26.80	12.60	16.20	24.40	38.30	40.00	250.60	

Fuente: SENAMHI-2000

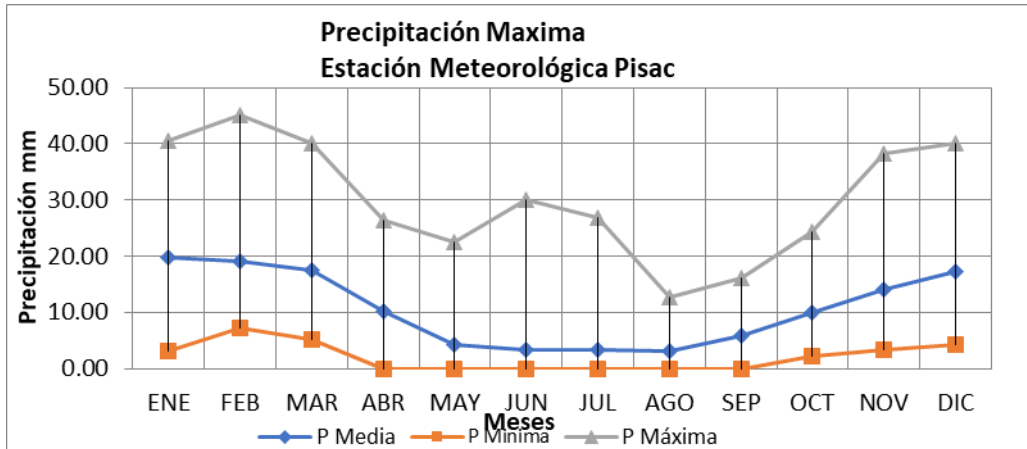


Figura 25: *histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Pisac*
(Fuente: SENAMHI-2000)

6.2.3.5. Estación meteorológica de Urubamba Código 113034.

Entre las más destacadas se encuentra la estación climatológica de Urubamba, cuya información sobre el parámetro de precipitación máxima en 24 horas es:



Tabla 21: Precipitación máxima en 24 hr. estación Urubamba

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1963											10.50	10.00	20.50
1964	13.00	13.00	27.00	7.00	8.00	0.00	0.00	0.00	7.00	17.00	24.00	8.00	124.00
1965	21.00	10.00	16.00	16.00		0.00	0.00	0.00	7.00	4.00	12.00	23.00	109.00
1966	19.00	28.00	16.00	5.00	14.00	0.50	0.00	5.30	17.50	21.00	23.00	13.00	162.30
1967	22.30	20.00	13.00	12.00	4.50	0.50	6.50	0.00	0.00	5.00	18.00	9.00	110.80
1968	15.00		21.00	6.00	0.00	0.00	36.50	5.00	10.00	0.00	15.00	5.00	113.50
1969	17.00	14.00	5.00	4.00	0.00	0.00	3.00	0.00	3.00	3.00	4.00	6.00	59.00
1970	16.00	10.00	5.00		0.00	0.00	2.50	0.00	6.00	10.00	12.50	25.00	87.00
1971	15.00	17.00	10.00	8.00	0.00	0.00	0.00	3.00	2.00	16.50	11.00	30.00	112.50
1972	23.00	13.00	8.00	7.80	1.60	0.00	2.00	6.90	12.90	2.80	10.20	17.90	106.10
1973	31.00	11.30	21.00	15.10	2.80	1.40	4.10	3.90	1.60	5.10	14.90	11.00	123.20
1974	13.00	15.40	20.80	12.70	8.00	7.80	0.00	13.80	5.80	9.20	7.80		114.30
1975	19.30	28.70	9.80	13.80	8.80	5.50	0.00	9.20	5.30	8.20	10.30	24.50	143.40
1976	23.60	10.50	32.20	9.80	6.30	2.00	0.00	0.00	5.00	0.00	13.80	25.00	128.20
1977	18.20	9.20	22.40	25.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.40	22.00	9.60	127.00
1978	17.40	16.80	24.20	21.80	9.60	0.00	0.00	0.00	2.40	5.20	10.60	18.00	126.00
1979	19.40	15.20	8.60	4.80	2.80	0.00	0.00	3.60	25.20	2.20	14.00	6.40	102.20
1980	8.40	10.00	15.40	5.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	2.80	20.60	6.00	70.00
1981	4.80	4.60	2.40	4.40	0.00	0.00	0.00	4.40	4.60	6.20	4.40	6.20	42.00
1982	4.20	4.20	4.00	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	3.60	4.70	30.90
1983	3.20	2.20	4.00	2.20	3.20	1.20	0.00	0.00	0.00	2.40	4.20	6.00	28.60
1984	6.00	13.20	10.30	20.40	0.00	2.80	0.00	9.40	4.20	19.70			86.00
1985						4.20	2.10	2.80	4.80	4.90	12.20	21.00	52.00
1986	11.00	14.00	7.50	17.50	6.50	0.00	0.00	4.00	1.50	7.50	16.00	15.00	100.50
1987	20.00	16.00	17.50	0.50	3.00	6.50	8.50	0.00	7.50	8.00	11.00	16.00	114.50
1988	17.00	12.50	23.50	11.00	2.00	0.00	0.00	0.00	13.50	11.00	11.50	31.50	133.50
1989	15.00	27.50	15.50	12.50	6.00	4.50	0.50	0.00	15.00	13.50	12.50	18.00	140.50
1990	14.00	23.50	6.00	13.50	2.00	16.00	0.00	8.50	3.50	13.00	7.50	10.50	118.00
1991	15.00	31.00	23.00	22.50	0.50	5.50	0.00		8.50	9.00	22.50	22.00	159.50
1992	19.50	17.00	17.00	5.00	0.00	32.50	0.00	18.00	1.50	7.00	14.50	6.50	138.50
1993	16.00	14.50	9.50	12.50	1.00	0.00	2.00	15.00	2.00	9.00	13.50	29.00	124.00
1994	28.00	15.50	14.00	8.00	0.50				17.00	19.50	9.00	24.50	136.00
1995	18.20	9.60	11.10	7.90	0.80	1.00	0.20	0.00	12.50	9.00	15.10	18.00	103.40
1996	12.20	16.20	13.00	13.70	7.50	0.40	0.10	4.20	2.20	9.10	14.10	22.00	114.70
1997	13.00	24.20	16.70	3.80	1.80				0.00	4.00	4.80	17.50	108.20
1998	14.70	13.40	9.60	5.90	2.40	0.70	0.00	0.40	1.60	7.00	9.00	9.80	74.50
1999	28.10	21.50	14.60	10.40	15.60	0.80	0.10	0.00	11.70	11.20	13.40	23.80	151.20
2000	30.00	9.80	21.50	2.50	5.00	6.60	0.40	0.10	14.80	22.20	12.10	13.20	138.20
2001	17.80	15.00	15.10	4.00	4.70	0.00	9.50	3.90	5.20	35.50	13.70	11.00	135.40
2002	23.40	16.00	9.90	27.60	5.50	2.50	19.00	1.20	1.20	14.90	16.80	23.50	161.50
2003	20.00	21.40	22.40	8.80	3.30	8.40	0.90	9.20	0.80	14.90	18.20	16.20	144.50
2004	11.40	16.10	15.10	4.50	0.70	13.10	12.40	5.10	2.30	17.40	7.90	18.40	124.40
2005	14.50	19.50	12.80	12.50		0.00	1.50	0.60	8.30	3.80	14.30	17.70	105.50
2006	28.50	24.20	19.00	13.60	0.00	1.00	0.00	2.50	5.60	11.20	20.70	14.40	140.70
2007	12.30	20.50	17.10	18.00	3.00	0.00	1.20	0.10	0.00	15.90	16.20	18.60	122.90
2008	21.00	14.60	13.70	2.50	4.20	1.50	0.60	2.80	1.20	8.30	24.60	22.50	117.50
2009	29.80	28.30	13.90	3.00	6.00	0.10	0.80	1.10	6.20	1.90	25.60	8.20	124.90
2010	19.80	19.50	26.10	3.60	0.80	0.00	2.40	5.70	1.80	10.10	4.90	24.70	119.40
2011	21.00	21.10	18.90	11.60	6.00	15.30	13.00	2.50	11.10	16.30	7.60	44.20	188.60
2012	10.04	20.30	9.90	7.00	0.20	0.20	1.60	0.30	7.50	2.80	16.60	21.60	98.04
2013	33.40	23.10	14.00	1.20	0.90	2.50	0.00	8.40	1.70	25.50	24.90	24.50	160.10
2014	32.70	13.40	11.40	10.40	7.80	0.00	0.10	0.50	3.40	19.80	11.90	18.90	130.30
2015	17.80	28.40	14.30	7.00	2.80	0.00	4.50	2.20	2.70	8.40	7.50	23.00	113.60
2016	12.00	19.00	26.00	5.70	1.00	0.30	5.00	0.00	2.00	19.00	18.80	19.60	128.40
2017	17.70	10.20	17.20	18.00	4.00	0.00	0.00	9.20	0.60	18.20	17.20	11.30	123.60
2018	13.20	25.00	22.20	2.70	0.00	17.10	7.20	8.90	1.70				98.00
2019	11.40	19.60	42.30	11.80	4.10	0.90	2.30	0.00	1.50	12.70	11.70	16.60	134.90
2020	22.70	23.20	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.30	11.20	18.20	29.50	119.60
2021	21.50	14.00	10.40	6.90	5.00	1.50	0.00	0.00	2.40	10.90	14.50	19.10	106.20
Nro. DATOS	57.00	56.00	57.00	56.00	55.00	56.00	57.00	56.00	58.00	57.00	57.00	56.00	59.00
MEDIA	17.78	16.78	15.47	9.48	3.35	2.94	2.84	3.36	5.39	10.69	13.85	17.26	114.10
DESV. STD	6.95	6.39	7.42	6.46	3.57	5.84	5.95	4.25	5.33	7.14	5.55	8.13	33.44
C.V.	0.39	0.38	0.48	0.68	1.07	1.99	2.25	1.27	0.99	0.67	0.40	0.47	0.29
MIN	3.20	2.20	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	4.70	20.50
MAX	33.40	31.00	42.30	27.60	15.60	32.50	36.50	18.00	25.20	35.50	25.60	44.20	188.60

Fuente: SENAMHI-2000

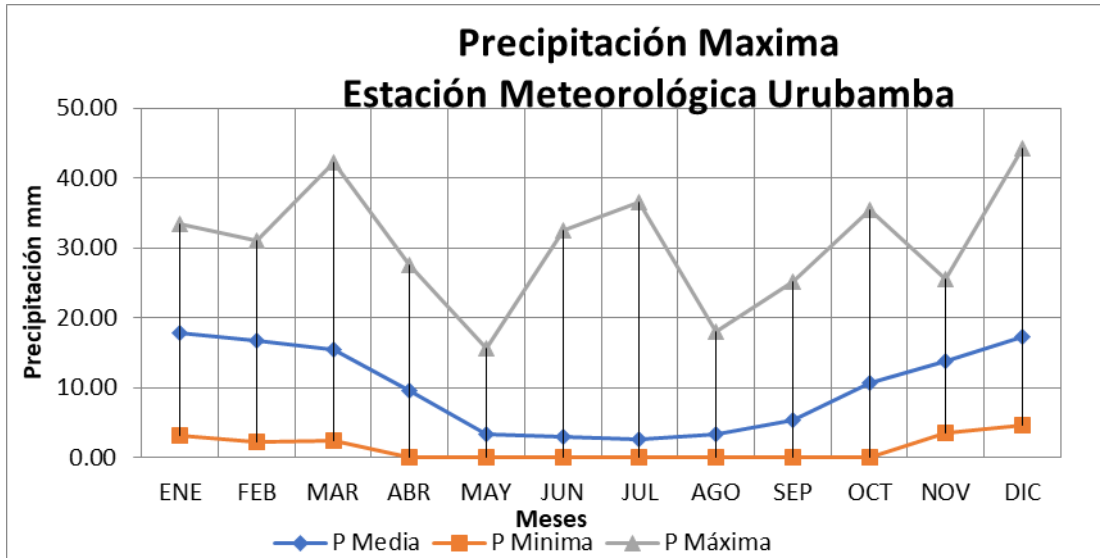


Figura 26: Histograma de precipitación máxima en 24 hr. mensual de la estación Urubamba (Fuente: SENAMHI-2000).

6.3. Características de la cuenca.

6.3.1. Parámetros fisiográficos del kilómetro 0+00 al 32+116.

En el análisis hidrológico se han sugerido diversas metodologías numéricas para caracterizar estos parámetros en una cuenca, las cuales cambian según la morfología (configuración, topografía, red de drenaje, etc.), los tipos de suelos, la cobertura vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, entre otros factores.

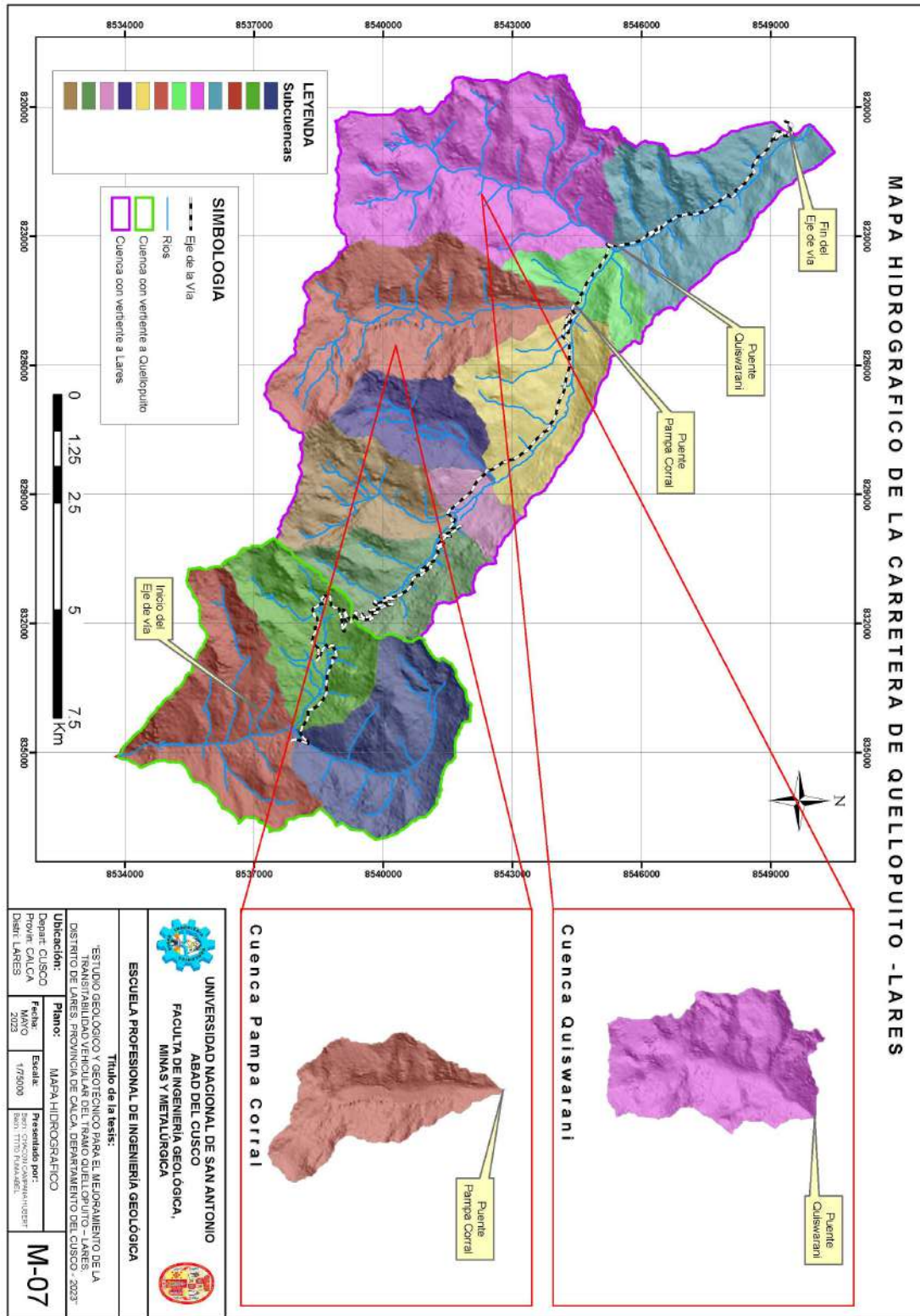


Figura 27: Mapa hidrográfico de la carretera de Quellopuito - Lares. (Fuente: Elaboración Propia)



6.3.2. Área de la cuenca general de la Carretera Quellopuito – Lares 32+116 km al 0+00 km.

En este caso, se empleará el programa ArcGIS. Definir cuencas a mano tiende a ser una tarea bastante ardua; no obstante, ArcGIS dispone de un robusto conjunto de herramientas hidráulicas que facilitan la simulación del movimiento del agua sobre la superficie de un Modelo de Elevación Digital (DEM), lo que contribuye a tomar decisiones en procesos de planificación. Para definir automáticamente una cuenca hidrográfica y construir la red de agua a partir de un DEM, es preciso llevar a cabo el siguiente proceso:

- ✓ Obtención del DEM.
- ✓ Definir proyección del DEM.
- ✓ Eliminar imperfecciones del DEM.
- ✓ Definir la dirección de la red hídrica.
- ✓ Determinar la acumulación la red hídrica.
- ✓ Delimitando automáticamente la cuenca hidrográfica.
- ✓ Construir automáticamente la red hídrica.

Tras completar estos procedimientos, podemos examinar la Figura N° 19, en la cual se perfecciona la definición de la cuenca hidrográfica del Puente Pampa Corral,

6.3.2.1. Parámetros hidrológicos de la Cuenca del Puente Pampa Corral.

El parámetro geomorfológico de la cuenca del (Puente Pampa Corral) son las siguientes:

Área de la cuenca	:	16.99 Km ² .
Altura máxima	:	5,743.00 msnm.
Altura mínima	:	3,695.00 msnm.
Longitud de la cuenca	:	7.1447 m.
Longitud del río principal	:	9.1429 m.
Altura máxima cauce	:	5,269.00 msnm.

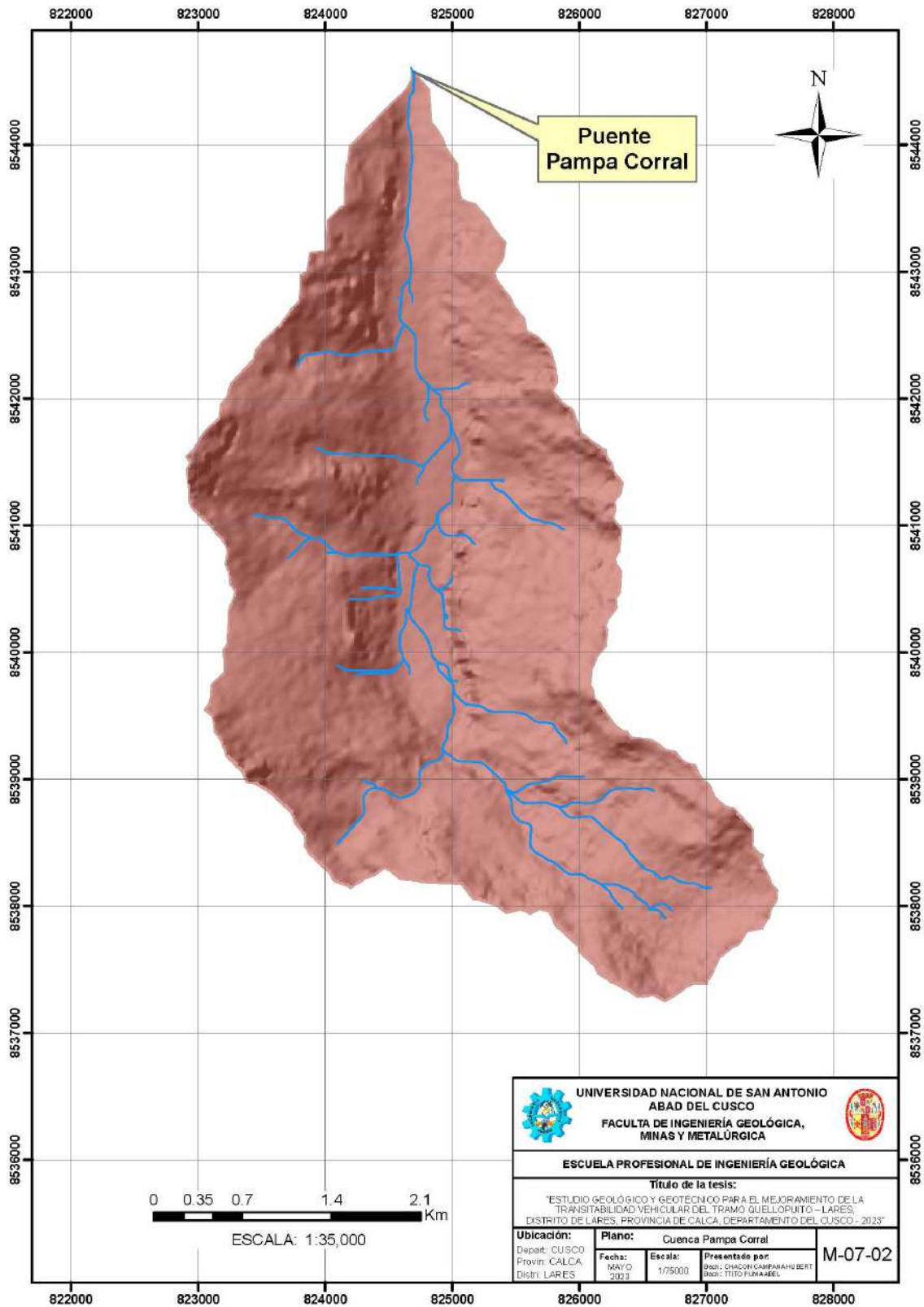


Figura 28: Delimitación de cuencas hidrográficas puente Pampa corral.



6.3.2.2. Parámetros hidrológicos de la Cuenca del Puente Quishuarani.

Área de la cuenca	:	22.13 Km ² .
Altura máxima	:	5,379.00 msnm.
Altura mínima	:	3,598.00 msnm.
Longitud de la cuenca	:	6.98 m.
Longitud del río principal	:	7.23 m.
Altura máxima cauce	:	4,807.00 msnm.

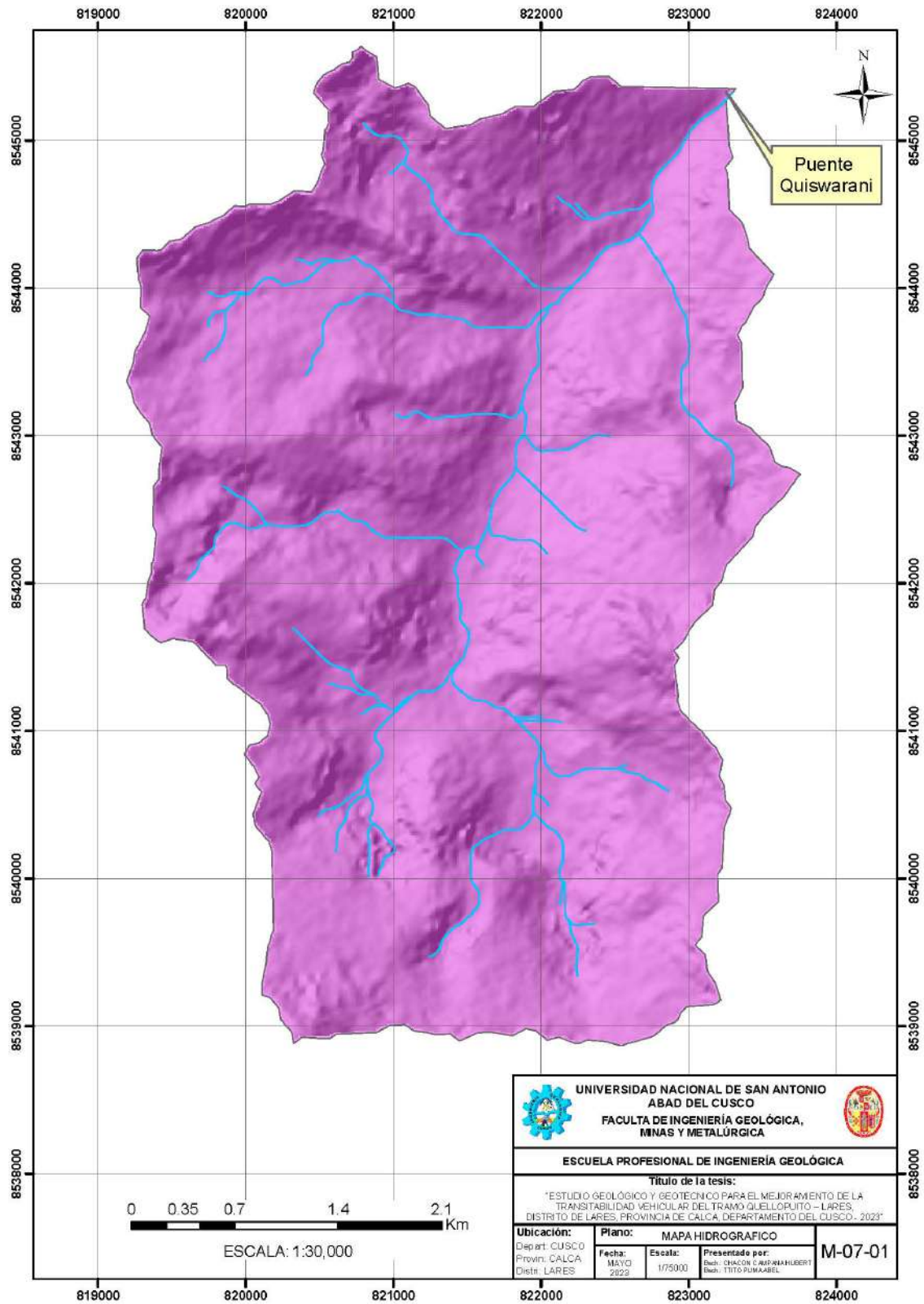


Figura 29: Delimitación de cuencas hidrográficas puente Quiswarani. (Fuente: Elaboración Propia)



6.3.2.3. Perímetro de la cuenca.

Para calcular el Perímetro, se utilizó el programa ArcGIS, el cual, como se detalló en el apartado (a.- Área de la cuenca general de la Carretera Quellopuito – Lares 32+116 km al 0+00 km.), produce estos parámetros a partir de un Ráster de la región de estudio junto con las curvas de nivel. Así, se define la cuenca y se obtienen los resultados del área y el perímetro, los cuales pueden ser verificados en el programa Autocad.

Tabla 22: *Perímetro de cuencas de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares.*

Nº	CUENCA	PERIMETRO
01	Puente Pampa Corral	19.47
02	Puente Quishuarani	21.84

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.4. Ancho medio (B)

Es el efecto de separar la extensión de la cuenca por su longitud axial (medida desde su salida o desembocadura hasta el borde de la cuenca, siguiendo la trayectoria del cauce más extenso). Su proporción es:

Dónde:

B: Ancho medio de la cuenca, en Km.

A: Área de la cuenca, en Km².

L: Longitud axial de la cuenca, en Km.

Tabla 23: *Ancho medio de cuenca de puentes carretera quellopuito – lares*

Nº	CUENCA	ANCHO MEDIO (km)
01	Puente Pampa Corral	2.37
02	Puente Quishuarani	3.16

Fuente: Elaboración Propia.

6.3.2.5. Altura media de la cuenca (hm)



La elevación promedio de la cuenca se calcula mediante el examen de los diversos métodos empleados para establecer dicha altura, como se muestra a continuación.

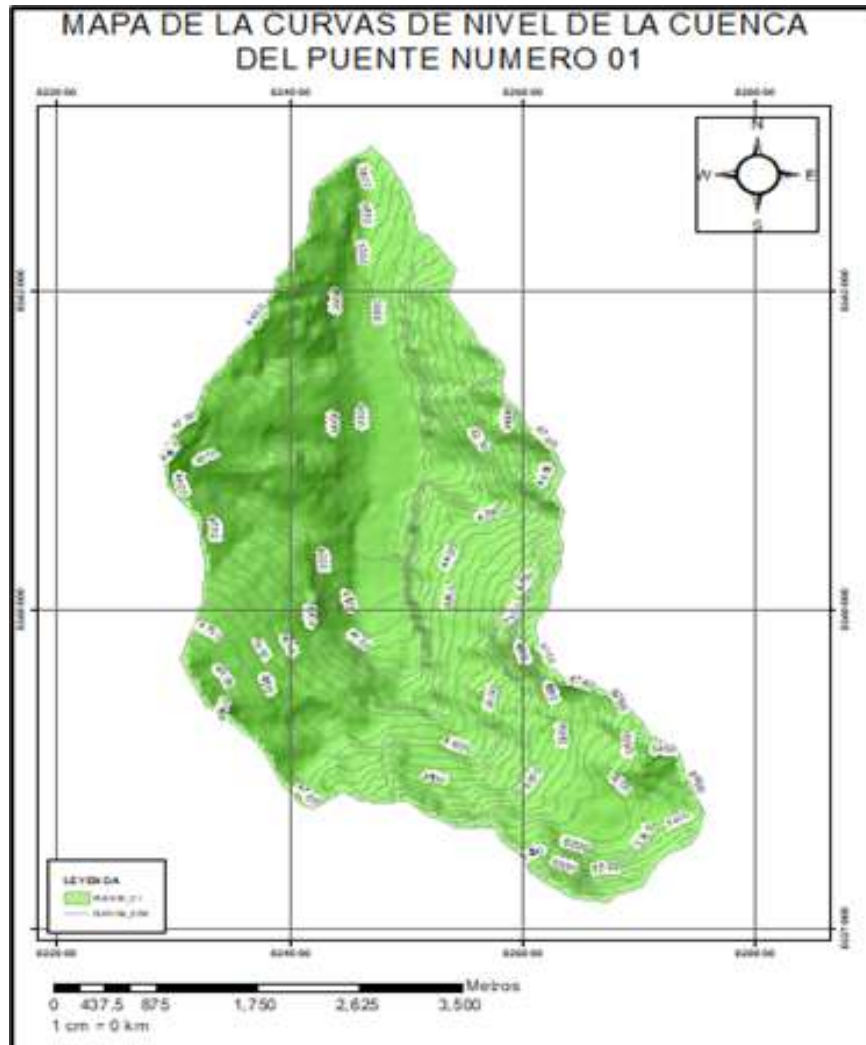


Figura 30: Curvas de nivel de la cuenca del puente Pampacorral (Fuente: Elaboración Propia)

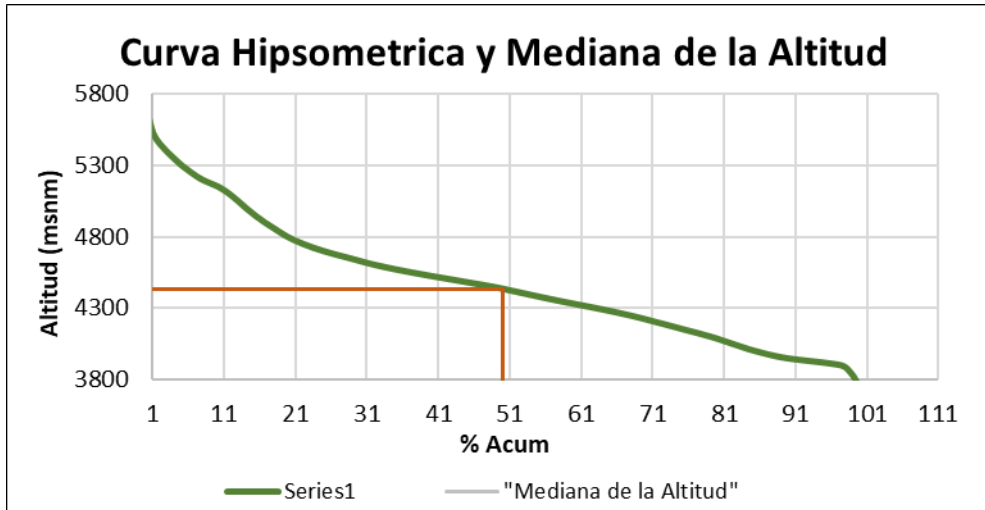


Figura 31: Curva hipsométrica cuenca puente Pampacorral (Fuente: Elaboración Propia)

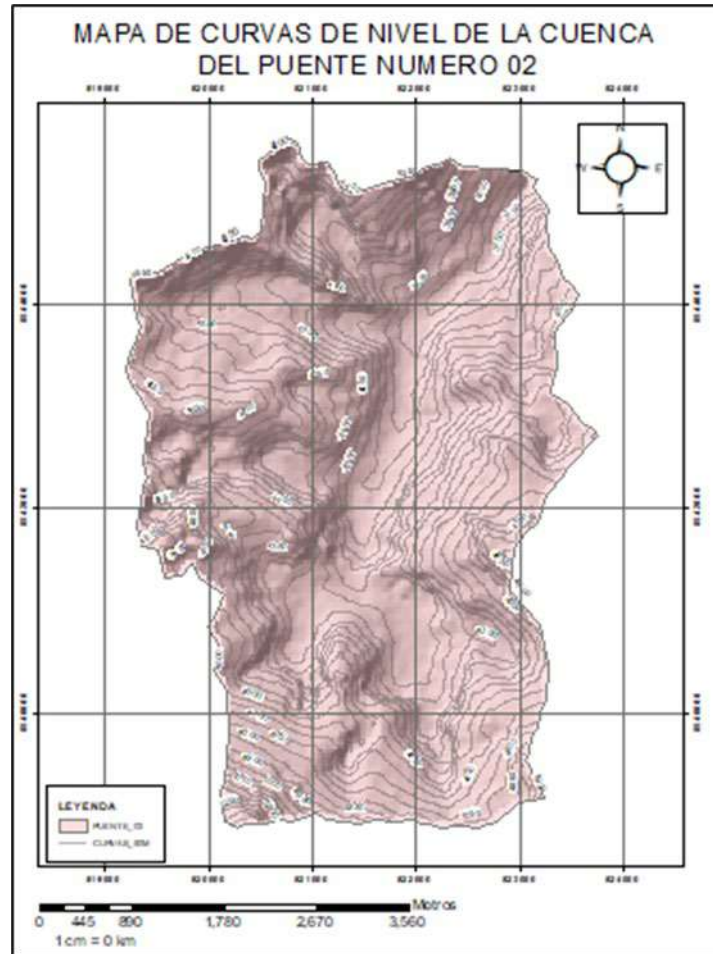


Figura 32: *Curvas de nivel de la cuenca del puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia)*

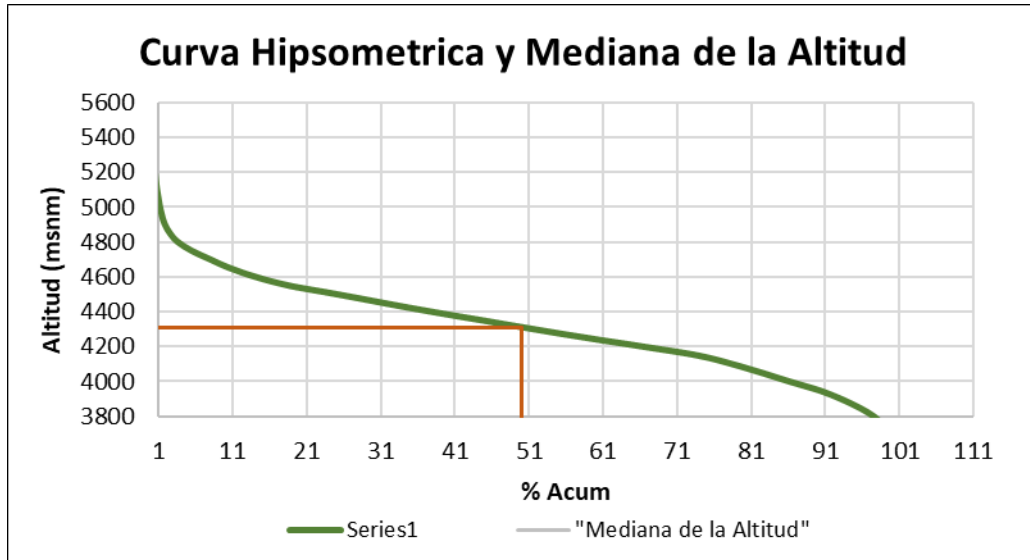


Figura 33: Curva hipsométrica cuenca puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia)

La altura media de la cuenca es:

Tabla 24: Altura media de las cuencas de puentes de la carretera de Quellopuito – Lares

Nº	CUENCA	ALTURA MEDIA (msnm)
01	Puente Pampa Corral	4,434.99
02	Puente Quishuarani	4,311.66

Fuente: Elaboración Propia.

6.4. Parámetros geomorfológicos.

Los factores de relieve o topografía de una cuenca tienden a tener una mayor influencia en la respuesta hidrológica que los aspectos físicos de la cuenca. En el presente análisis, consideramos los siguientes:

6.4.1. Pendiente de la cuenca

La inclinación de una cuenca es un factor crucial en cualquier investigación vinculada a cuencas, ya que impacta considerablemente en el control de la rapidez con la



que ocurre la escorrentía superficial y, en consecuencia, en el tiempo que tarda el agua de la lluvia en acumularse en los lechos fluviales que forman la red de drenaje de las cuencas.

La fórmula a utilizar es:

$$\frac{(Cota_{max} - Cota_{min})}{1000} \cdot 100$$

$$\frac{\quad}{Longitud_{Cuenca}}$$

Tabla 25: Pendiente de las cuencas de los puentes de la carretera de Quellopuito – Lares

Nº	CUENCA	PENDIENTE CUENCA (%)
01	Puente Pampa Corral	28.66
02	Puente Quishuarani	25.50

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.2. Pendiente del cauce principal

La característica de las cuencas andinas muestra una disposición tal que, en los primeros kilómetros de su formación, la inclinación es bastante pronunciada. A medida que el lecho se desplaza a lo largo de la cuenca, el valor de la pendiente del curso principal disminuye, y a menudo llega a ser mínima o inexistente en algunos tramos, generando así charcas y reservorios naturales.

La Formula a utilizar es:

$$\frac{(Cota_{max} - Cota_{min})}{1000} \cdot 100$$

$$\frac{\quad}{Longitud_{Cuenca}}$$

Tabla 26: Pendiente de las cuencas de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares

Nº	CUENCA	PENDIENTE CAUCE (%)
01	Puente Pampa Corral	17.215
02	Puente Quishuarani	16.705

Fuente: Elaboración Propia.

6.4.3. Índice de compacidad o índice de Gravelius (Kc)



Nos muestra la proporción entre el contorno de la cuenca y el contorno de un círculo cuya área es equivalente al área de la cuenca. Si el valor de K_c es igual a uno, indica que la cuenca tiene forma circular, lo que facilita las crecientes, ya que los tiempos de concentración serán uniformes en todos los puntos. Por el contrario, si el valor de K_c es menor que uno, la cuenca tiende a ser más alargada. En la imagen siguiente se pueden observar los rangos de K_c y el valor que se debe adoptar:

Tabla 27: *Valores de K_c que se debe asumir*

Formas de sistemas hidrológicos con base en el coeficiente de Gravelius		
Clase de geometría	Rango de clase	Forma de cuenca
K_{c1}	$1 < K_c \leq 1.25$	Oval redonda
K_{c2}	$1.25 < K_c \leq 1.50$	Oval oblonga
K_{c3}	$1.50 < K_c \leq 1.75$	Oblonga alargada

Fuente: Elaboración Propia.

El valor de K_c es:

Dónde:

P: Perímetro de la cuenca, en Km.

A: Área de la cuenca, en Km²

Índice Gravelius

Tabla 28: *Indice de compacidad de los puentes de la carretera Quellopuito – Lares*

Nº	CUENCA	INDICE COMPACIDAD (kC)
01	Puente Pampa Corral	1.33
02	Puente Quishuarani	1.31

Fuente: Elaboración Propia.

De los resultados se observa que la cuenca pertenece a la clase K_c (Ovalada Alargada), lo que sugiere que en el Puente Pampa Corral y Puente Quishuarani hay una mayor probabilidad de que ocurran crecientes, y los tiempos de concentración son más prolongados. Sin embargo, en términos generales, la probabilidad de inundaciones durante el invierno en la parte media o inferior de la cuenca no es significativa.

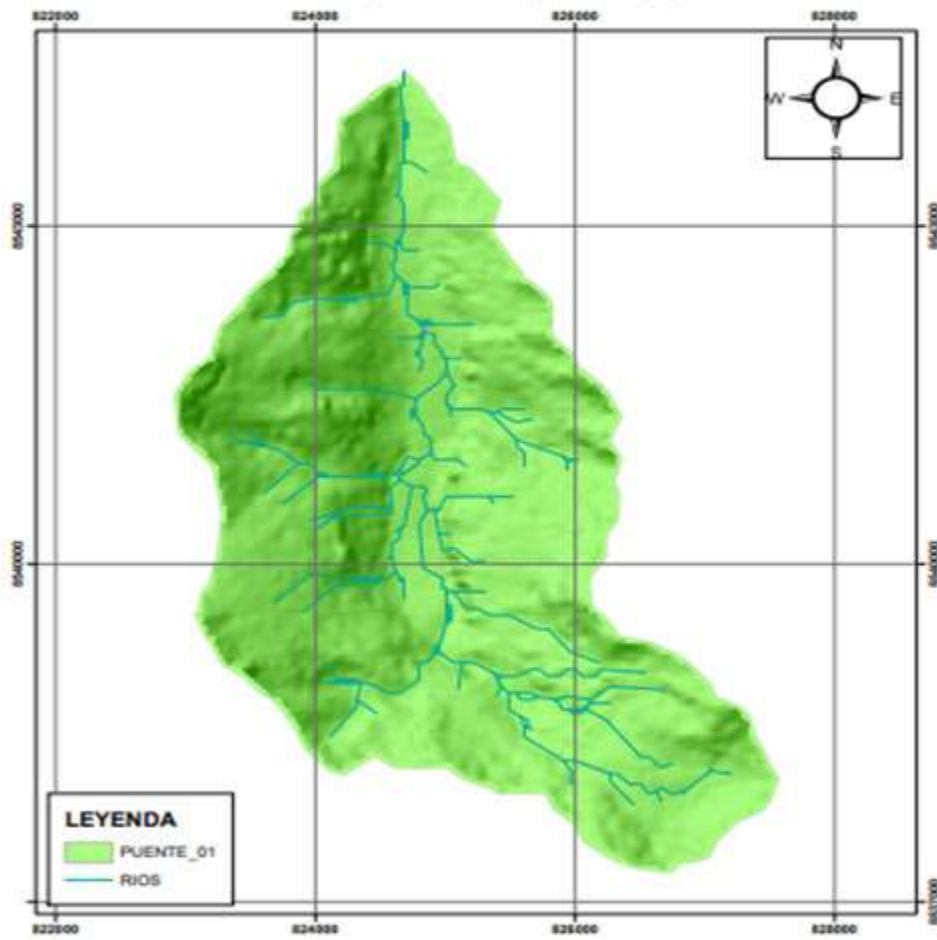


Figura 34: *Parámetros fisiográficos de la cuenca puente Pampacorral(Fuente: Elaboración Propia)*

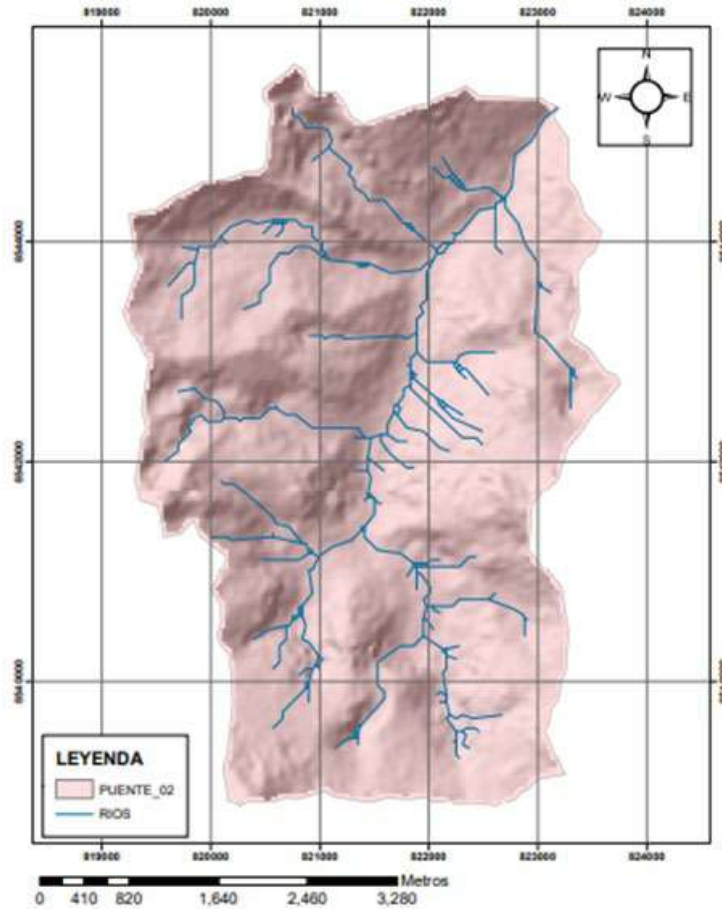


Figura 35: Parámetros fisiográficos de la cuenca puente Quishuarani (Fuente: Elaboración Propia)

6.4.4. Factor de forma (Ff)

Es un elemento que vincula el ancho promedio de la cuenca (B) con su longitud axial (L), y se representa mediante la siguiente fórmula:

$$F_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Factor de forma:

Tabla 29: Factor de forma de los puentes de la carretera de Quellopuito – Lares

Nº	CUENCA	FACTOR DE FORMA (Ff)
01	Puente Pampa Corral	0.20
02	Puente Ouishuarani.	0.42

Fuente: Elaboración Propia.



6.5. Parámetros hidráulicos.

6.5.1. Orden de las corrientes de agua.

R.E. HORTON propuso la clasificación de los cursos de agua según el número de orden de un río como un indicador de la ramificación del curso principal en una cuenca hidrográfica. Para su determinación, es imprescindible establecer de manera previa:

- Corrientes de primer orden: pequeños canales que no tienen tributarios.
- Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- Corrientes de tercer orden: cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- Corrientes de orden n+1: cuando dos corrientes de orden n se unen.

6.5.2. Densidad de drenaje.

Es la proporción entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y su área total. Generalmente, el valor de D_d varía entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje deficiente y hasta 3.5 km/km² para cuencas con drenaje excepcional.

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Dónde:

L = longitud total de las corrientes de agua en Km.

A = área total de la cuenca en Km².

Tabla 30: Densidad de drenaje de los puentes de la carretera Quellopuito - Lares

Nº	CUENCA	DENSIDAD DE DRENAJE (D_d)
01	Puente Pampa Corral	0.53
02	Puente Quishuarani.	0.32

Fuente: Elaboración Propia.



6.5.3. Caudales aforados en los puentes de la carretera CU-1596

Con el propósito de evaluar correctamente el caudal que fluye en los ríos principales (Puente Pampa Corral) y en la cuenca del río Apurímac (Puentes Quishuarani), donde se ha llevado a cabo la medición de los cursos principales para la planificación de la construcción de puentes de distintas longitudes, se ha obtenido la siguiente información:

6.5.3.1. Caudal Aforado Puente Pampa Corral (Progresiva 23+600).

La medición realizada en el área de estudio en el mes de agosto en la sección del puente actual muestra que el ancho del cauce es de 4.30 m y la longitud del espejo de agua es de 3.90 m. Tras la medición, se obtuvo un caudal de 0.93 m³/s con una velocidad promedio de 1.51 m/s en la región de mayor profundidad.

El método de medición utilizado es con un dispositivo denominado Correntómetro, que es un instrumento diseñado para medir la velocidad de las corrientes en el mar, ríos, arroyos, estuarios, puertos, modelos físicos en laboratorio, entre otros. Algunos modelos también registran la dirección, profundidad, inclinación respecto a la vertical, temperatura del agua de mar, presión y conductividad. Su forma de registro puede ser mediante una papeleta registradora, cinta magnética o memoria de estado sólido.

Hay diversos tipos de correntómetros, siendo los más utilizados los de hélice, que vienen en varios tamaños. Cuantos mayores sean los caudales o más altas las velocidades, mayor debe ser el tamaño del dispositivo. Cada correntómetro debe contar con un certificado de calibración que indique la fórmula necesaria para calcular la velocidad del agua, basado en el número de vueltas o revoluciones de la hélice por segundo.

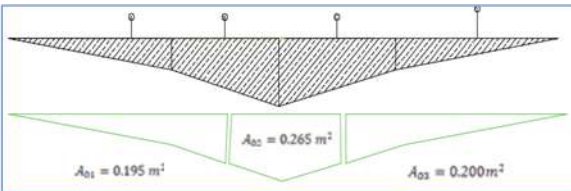
Dado que el correntómetro mide la velocidad en un punto específico, para determinar la velocidad promedio en un curso de agua es necesario, en algunos casos, medir la velocidad en dos, tres o más puntos a distintas profundidades a lo largo de una vertical desde la superficie del agua. Las profundidades en las que se miden las velocidades con el correntómetro dependen de la altura del nivel de agua.



Fotografía 14: Vista del Puente Pampacorral durante la temporada seca, mostrando la sección del río con el cauce aforado.

Tabla 31: Cálculo del Aforo en la Sección del Puente Pampacorral.

PUENTE N°01					
Descripción	Actual Puente N°01				
Espejo de agua	3.90 m				
Parámetro	Unidad	Pto 01	Pto 02	Pto 03	
Ubicación	m	1.16	1.60	1.15	
Profundidad	m	0.18	0.39	0.18	
Med 01	km ³ /dia	134.32	42.32	229.69	
Med 02	km ³ /dia	127.50	38.65	239.60	
Med 03	km ³ /dia	102.03	23.82	239.30	
Velocidad Promedio	km ³ /dia	121.28	34.93	236.20	
	m/s	1.40	0.40	2.73	
Área	m ²	0.20	0.27	0.20	
Caudal	m ³ /s	0.27	0.11	0.55	
Q _{total}	m ³ /s	0.93			



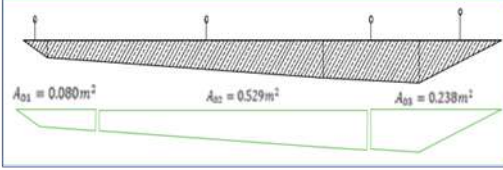
Fuente: Elaboración Propia.

6.5.3.2. Caudal Aforado Puente Quishuarani (Progresiva 25+410).

La medición efectuada en el área de estudio durante el mes de julio en la sección del puente actual muestra que el ancho del cauce es de 5.50 m y la longitud del espejo de agua es de 5.20 m. Tras la medición, se obtuvo un caudal de 0.64 m³/s con una velocidad promedio de 1.06 m/s en la zona de mayor profundidad.

Tabla 32: Cálculo del Aforo en la Sección del Puente Quishuarani.

PUENTE N°02				
Descripción	Actual Puente N°02			
Espejo de agua	5.20 m			
Parámetro	Unidad	Pto 01	Pto 02	Pto 03
Ubicación	m	0.26	3.00	0.90
Profundidad	m	0.10	0.22	0.25
Med 01	km/día	135.46	38.29	103.92
Med 02	km/día	138.51	38.69	93.89
Med 03	km/día	137.12	38.60	99.51
Velocidad	km/día	137.03	38.53	99.11
Promedio	m/s	1.59	0.45	1.15
Área	m ²	0.08	0.53	0.24
Caudal	m ³ /s	0.13	0.24	0.27
Q_{total}	m ³ /s	0.64		



Fuente: Elaboración Propia.



CAPÍTULO VII GEOTECNIA



7.1. Generalidades

Se ha realizado el Estudio de suelo del tramo con el objetivo de determinar sus características físicas y propiedades estructurales en aplicación al diseño del pavimento de la vía.

El Estudio Geotécnico de los caminos abarcan el tramo entre el desvío de la carretera Calca - Amparaes, en el lugar conocido como Quellopuito, y el desvío hacia la localidad de Lares, iniciando el segmento vial desde Quellopuito Km 00+000 hasta Lares Km 32+116. Este estudio permite analizar en detalle las características geomecánicas del suelo y la roca presentes en el tramo examinado, de acuerdo con la configuración geométrica y la composición de los suelos en la zona de estudio. Se han realizado excavaciones de pozos de muestreo a cielo abierto para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo, con la exploración de 32 calicatas a cielo abierto, de las cuales se ha extraído material para su análisis en laboratorio. La geología de la región define la estructura y la disposición del talud, existiendo áreas de afloramiento rocoso así como materiales de cobertura que yacen sobre los afloramientos rocosos de las diferentes formaciones presentes en el trazado de los caminos.

Las deformaciones y tensiones que se han estado generando están relacionadas con la tectónica de la cordillera oriental de la región. Para la determinación de los pozos de exploración a cielo abierto se tomó en cuenta el estudio de tráfico efectuado en el perfil de viabilidad. Así se estableció el número total de pozos a perforar. Con un conteo total de 401 vehículos/día. Sin embargo, debido a las restricciones impuestas por el estado de emergencia y las limitaciones vehiculares, se deberá considerar un valor mayor en el estudio de tráfico.

De acuerdo con el manual de carreteras-suelos, geotecnia y pavimentos - Sección: Suelos y Pavimentos, sobre el número de calicatas para exploración de suelos, se ha llevado a cabo la determinación del perfil estratigráfico del subsuelo mediante 32 pozos de sondeo situados estratégicamente a lo largo del tramo desde el desvío Quellopuito - Lares. Para ello, se han tomado muestras de una calicata por kilómetro a una profundidad de 1.50 m, tal como lo estipula la normativa vigente del MTC. Posteriormente, estas muestras se analizarán en laboratorio para determinar su CBR. Los resultados deberán ser interpretados y evaluados para decidir el espesor del material de préstamo que se utilizará en cada tramo de la vía.



En cuanto a las obras de arte, como los muros de contención, se ha coordinado con el diseño geométrico y estructural, realizando pruebas en laboratorio de suelos para determinar las capacidades portantes de los muros de contención.

Se identificaron las canteras de material de préstamo para la carretera. Estas canteras están situadas cerca de la vía y cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la normativa actual. Esta identificación se realizó durante la elaboración del perfil.

7.1.1. Normatividad

Estos análisis se efectuaron de acuerdo con el manual de carreteras, sección Suelos y Pavimentos R.D N°10-2014-MTC/14, que especifica los siguientes ENSAYOS A REALIZAR:

➤ Contenido de Humedad	NTP 339.127
➤ Análisis granulométrico por tamizado	NTP 339.128
➤ Limite Líquido (L.L.)	NTP 339.129
➤ Limite Plástico (L.P.)	NTP 339.129
➤ Índice de Plasticidad (I.P.)	NTP 339.129
➤ Clasificación de suelos.	ASTM D 2487
➤ Proctor modificado.	NTP 339.142
➤ Valor Relativo de Soporte (CBR)	NTP 339.145

7.1.2. Geotecnia de la vía

La valoración geotécnica del segmento Quellopuito–Lares, con una extensión de 32+437 km, incluye la identificación del tipo de suelo, ya sea arenoso, arcilloso-limoso o rocoso. Esta tarea se realiza debido a las exposiciones de las formaciones geológicas presentes en el tramo de la carretera, y también influye el tipo de material cuaternario de recubrimiento que rodea la vía.

La recolección de muestras contribuirá a establecer las características físico-mecánicas del suelo, las cuales serán analizadas en un laboratorio especializado en suelos. La distribución de los distintos tipos de suelos y estratos rocosos se debe a la intensa actividad tectónica que han experimentado las formaciones geológicas, resultando en afloramientos rocosos en áreas expuestas, que se encuentran fracturadas, alteradas y son vulnerables a la intemperie debido a su composición. Además, también hay materiales de recubrimiento como depósitos coluviales, fluviales, morénicos y fluvio-morénicos con baja consolidación.



7.1.3. Metodología de investigación de campo y laboratorio

La metodología para la caracterización del suelo de fundación consistirá principalmente en una investigación de campo a lo largo de la carretera en una extensión total de 32+437 km. Esto se realizará mediante la perforación de pozos exploratorios (calicatas), para recolectar muestras representativas en cantidad y calidad adecuadas para su análisis posterior en laboratorio. Finalmente, con los datos obtenidos en ambas fases, se procederá a la fase de gabinete, donde se registrarán gráficamente y por escrito los resultados obtenidos.

7.1.3.1. MATERIALES PARA PAVIMENTO

Según los lineamientos del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, las capas de base y subbase deben satisfacer requisitos mínimos, particularmente en lo que respecta al CBR. Asimismo, deben ajustarse a las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, las cuales se evidencian mediante los ensayos de laboratorio efectuados (como se muestra en el estudio geotécnico de la vía) para llevar a cabo el presente análisis.

7.1.3.2. Base Granular

Tabla 33: CBR mínimo para material de base

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico en ejes equivalentes ($<10^6$)	Mín. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes ($\geq 10^6$)	Mín. 100%

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)

De acuerdo con nuestro tráfico en ejes equivalentes que es menor a 10,000,000, consideramos un CBR mínimo de 80 %.

7.1.3.3. Sub Base Granular

Tabla 87: CBR mínimo para material de subbase



Tabla 34: CBR mínimo para material de subbase.

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1” (2.5 mm), se considera por tanto un CBR mínimo de 40 % para material de Sub Base.

7.1.3.4. Tratamiento Superficial - Lechada Asfáltica (Slurry Seal)

Este pavimento flexible deberá cumplir también con las especificaciones técnicas generales de construcción, respecto a agregados, gradación y tipo de asfalto, además de, satisfacer los requisitos de maquinaria, exigencias constructivas, supervisión de la calidad y aprobación de las obras.

Se puede usar como tratamiento superficial la lechada asfáltica o Slurry Seal, debido al bajo volumen de tránsito registrado en la zona, además de la sección estrecha de la vía debido a la topografía, consecuentemente el periodo de diseño es de 10 años.

Según el International Slurry Surfacing Association (ISSA), Instituto del Asfalto, AASHTO, ASTM y PIARC definen al slurry seal como la mezcla de emulsión asfáltica, agregados pétreos, agua y aditivos.

La descripción para el término genérico "lechada asfáltica", "slurry seal" o "mortero asfáltico" es una combinación de emulsión asfáltica o diluida con disolventes, modificada o no con polímeros, materiales pétreos de granulometría fina, relleno, agua y aditivos. En cuanto al término específico "lechada asfáltica", "slurry seal", "mortero asfáltico" y "sello de lechada asfáltica", la definición es la siguiente: mezcla bituminosa de emulsión asfáltica, agregados pétreos (agregados finos y relleno mineral), agua y aditivos.

En fin, se puede determinar que el término general es mortero asfáltico, basado en la combinación de arena con asfalto; y como término específico, se emplea "slurry seal" en inglés y "lechada asfáltica" en español.

Se considera el slurry seal como termino especifico con 12 mm de espesor o 1.2 cm de espesor.

A continuación, se tiene algunos alcances de definiciones internacionales de slurry seal.



Tabla 35: Definiciones de Slurry SEAL.

PAIS	INSTITUCIÓN ESPECIALIZADA /NORMA	TÉRMINO	DEFINICIÓN
USA	ISSA	SLURRY SEAL	Mezcla emulsión asfáltica + agregado mineral + agua + aditivos
USA	INSTITUTO DEL ASFALTO	LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEAL)	Mezcla emulsión asfáltica + agregados de granulometría cerrada + agua + aditivos.
USA	AASHTO	SLURRY SEAL	Mezcla emulsión diluida + agregado arena-piedra.
MUNDIAL	PIARC	LECHADA BITUMINOSA (SLURRY SEAL)	Mezcla emulsión bituminosa + áridos minerales + aditivos.
		MORTERO BITUMINOSO	Mezcla ligante bituminoso + arena ± filler
ESPAÑA	KRAEMER	MORTERO ASFÁLTICO	Mezcla ligante + árido fino + polvo mineral
	KRAEMER	LECHADA BITUMINOSA (SLURRY SEAL)	Mezcla emulsión bituminosa + áridos + polvo mineral + agua + adiciones.
INGLATERRA	TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (TRL) & OVERSEAS DEVELOPMENT ADMINISTRATION (ODA)	SLURRY SEAL	Mezcla emulsiones bituminosas + agregado fino + filler de cemento portland + agua adicional.
SUDÁFRICA	TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HIGHWAYS: DESIGN AND CONSTRUCTION OF SURFACING SEALS (TRH 3)	SLURRY SEAL	Mezcla emulsión de grado estable (aniónica o catiónica) o una emulsión modificada + agregado fino + filler (cemento o cal) + agua

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

Tabla 36: Definiciones Slurry SEAL en Sudamerica.

CHILE	Manual Carreteras Volumen N°5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, sección 5.406 Lechada Asfáltica	LECHADA ASFÁLTICA	Mezcla emulsión asfáltica + áridos bien graduados + filler + agua.
	Manual de Carreteras, Volumen N°7: Mantenimiento Vial, sección 7.304.4 Sellos Bituminosos	SELLO BITUMINOSO	Riego asfáltico ± agregado. Los tipos de sellos incluyen: lechada asfáltica
COLOMBIA	Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras	LECHADA ASFÁLTICA	Mezcla emulsión asfáltica de rotura lenta + agregado fino + llenante mineral + agua + aditivos.
	Artículo 433-07: Lechada Asfáltica Especificaciones Técnicas	LECHADA ASFÁLTICA	Mezcla emulsión asfáltica de rotura lenta ± polímeros + agregados pétreos (agregado fino y llenante mineral) + agua + aditivos.
COSTA RICA	Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010, en la sección 412. SELLOS CON LECHADA ASFÁLTICA (SLURRY SEAL)	SELLO CON LECHADA ASFÁLTICA	Mezcla emulsión asfáltica + agregado mineral + agua + aditivos.
MEXICO	N-CTR-CAR-1-01-008/13 Capas de Rodadura con Mezcla Asfáltica en Frio	MORTERO ASFÁLTICO	Mezcla emulsión o rebajado con solventes ± fibras sintéticas + materiales pétreos de granulometría fina + cemento asfáltico ± aditivos
	N-CMT-4-05-003/08 Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras	MORTERO ASFÁLTICO	Mezcla emulsión asfáltica o asfalto rebajado + arena (TM= 2.36mm -N°8) + agua

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.1.4. Diseño estructural del pavimento, determinación de espesores

El diseño estructural del pavimento se realizará por el método AASHTO 1993.

7.1.4.1. Método AASHTO 1993



Tabla 37: *Parámetros previos.*

PROGRESIVA	TIPO DE TRAFICO	ESAL	TIPO DE SUB RASANTE	CBR
0+000 - 32+405	Tp4	772785.58	S3 - BUENO	12.58

Fuente: Elaboración Propia.

El intervalo de planificación para el presente diseño es de una fase, con una duración de 10 años. El objetivo es determinar el Número Estructural Necesario (SNr), de modo que con este valor se establezcan los espesores de cada capa de la estructura del pavimento. Para ello, se cuentan con las siguientes variables.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

7.1.4.2. Numero de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 tn. (W18)

De acuerdo con los valores obtenidos en la sección de análisis de tráfico para el tramo completo de la carretera (32.405 km), el valor calculado es de 772,785.58 EE.

7.1.4.3. Módulo de Resiliencia (Mr)

Es una indicación de la rigidez del suelo de subrasante, además de sustituir al CBR como parámetro para describir la subrasante, subbase y base. También representa una medida de la propiedad elástica de los suelos.

Para determinar este parámetro, emplearemos la siguiente fórmula, que es aceptada según la propuesta de AASHTO. Esta fórmula depende del CBR que ya hemos calculado previamente.

Tabla 91: Modulo de resiliencia.

Tabla 38: *Modulo de resiliencia.*

$$M_R \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

PROGRESIVA	CBR	Mr
0+000 - 32+405	12.58	12917.74



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.4.4. Confiabilidad (R%)

Este parámetro indica la posibilidad de que una estructura específica se comporte adecuadamente durante su periodo de diseño. Esto dependerá de la calidad de la construcción, condiciones climáticas inusuales, un aumento excepcional en el tráfico pesado superior al previsto y otros factores. En términos simples, se trata de incorporar un nivel de seguridad adicional en el proceso de diseño para asegurar que la sección del pavimento proyectado funcione correctamente bajo las condiciones de tráfico y ambientales durante el periodo de diseño.

La fiabilidad no es un parámetro que se introduce directamente en la ecuación de diseño; para ello se debe emplear el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar (Z_r).

Tabla 39: Nivel de confiabilidad.

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}		>30'000,000	95%

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

A partir de la tabla previa, se observa un grado de fiabilidad del 80 % que corresponde al tipo de tráfico en ejes equivalentes acumulados.

7.1.4.5. Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Z_r)



Este coeficiente refleja el nivel de fiabilidad elegido para un conjunto de datos en una distribución normal. El valor de Z_r se extraerá de la tabla siguiente, la cual está relacionada con el tráfico y la fiabilidad.

Tabla 40: *Valores de coeficiente estadístico de desviación estándar normal.*

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T_{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10,000,000	-1.282
	T_{P10}	10,000,001	12,500,000	-1.282

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

El valor del coeficiente estadístico de la desviación estándar normal será: $Z_r = -0.842$.

7.1.4.6. Desviación Estándar Combinada (S_o)

Este valor considera la variabilidad anticipada en la predicción del tránsito y otros factores que influyen en el rendimiento del pavimento, como la construcción, el entorno y la incertidumbre del modelo. AASHTO sugiere emplear valores entre 0.4 y 0.5 para pavimentos flexibles, pero para nuestra área de estudio, adoptamos el valor de $S_o = 0.45$.

7.1.4.7. Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)



Refleja el confort de circulación proporcionado a los usuarios, con un rango de valores que va de 0 a 5, donde 5 representa el nivel óptimo de comodidad, aunque es difícil de lograr, y 0 indica el nivel más bajo de confort. A medida que la condición de la carretera empeora debido al deterioro, el PSI también disminuye.

Tomamos en cuenta una serviciabilidad inicial y una final, cuyos valores han sido analizados por AASHTO basándose en prácticas de décadas anteriores. Utilizaremos estos valores para calcular el Índice de Serviabilidad Actual (PSI). Adoptamos un valor de serviciabilidad inicial $P_o=3.8$, recomendado por AASHTO, lo que implica que el pavimento en su fase inicial no será perfecto, pero sí adecuado para el tránsito vehicular.

La serviciabilidad final que tomamos en cuenta es de $P_t=2.0$. Este valor indica el momento en que el pavimento comienza a deteriorarse y, según AASHTO, es cuando se necesita mantenimiento o rehabilitación. Además, el valor considerado está detallado en el cuadro 12.11 del Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, en relación con los ejes equivalentes a lo largo de todo el tramo de carretera.

Tabla 41: Índice de serviciabilidad inicial

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_i)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T_{F1}	150,001	300,000	3.80
	T_{F2}	300,001	500,000	3.80
	T_{F3}	500,001	750,000	3.80
	T_{F4}	750,001	1,000,000	3.80

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)



Tabla 42: Índice de serviciabilidad final

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (PT)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750,001	1,000,000	2.00

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.1.4.8. Variación de Serviciabilidad (Δ PSI)

Viene a ser la diferencia entre la serviciabilidad inicial y la final:

$$\Delta\text{PSI} = 3.8 - 2.0 = 1.8$$

7.1.4.9. Número Estructural Propuesto (SNr)

Las variables previas serán sustituidas en la fórmula general de la AASHTO para calcular el número estructural, que refleja el grosor total del pavimento y debe ser repartido entre las capas que constituyen la estructura del pavimento. Para ello, se dispone de la siguiente ecuación, la cual depende de los coeficientes estructurales de cada capa y de los coeficientes de drenaje de base y subbase.

$$\text{SN} = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

Donde:

- a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente

Con esta ecuación se determinará el grosor de cada capa de pavimento; no es algo definitivo, sino que se pueden ajustar o modificar los distintos espesores según un análisis económico y técnico.



7.1.4.10. Coeficientes estructurales de capa y Módulos de elasticidad de capas

Los factores estructurales de las distintas capas que se toman en cuenta son:

- En cuanto a la lechada asfáltica: Se trata de un tratamiento superficial con slurry seal. Aunque esta capa no contribuye a la estructura, para el diseño de las distintas capas situadas debajo de ella, se considera un coeficiente estructural de 0.38 por pulgada, equivalente a 0.15 por centímetro, que es la recomendación del manual de Suelos, Geotecnia, Geología y Pavimentos.

Tabla 43: *Coeficiente estructural para Slurry SEAL.*

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)
CAPA SUPERFICIAL		
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2.965 MPa (430.000 PSI) a 20 oC (68 oF)	a_i	0.170 / cm
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsión.	a_i	0.125 / cm
Micropavimento 25mm	a_i	0.130 / cm
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_i	0.250 (*)
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.	a_i	0.150 (*)
(*) Valor Global (no se considera el espesor)		

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

Se utiliza este valor porque nuestro tráfico es de bajo volumen, conforme a las sugerencias del manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos actual.



Tabla 44: Tabla de ensayo para CBR - capa de base

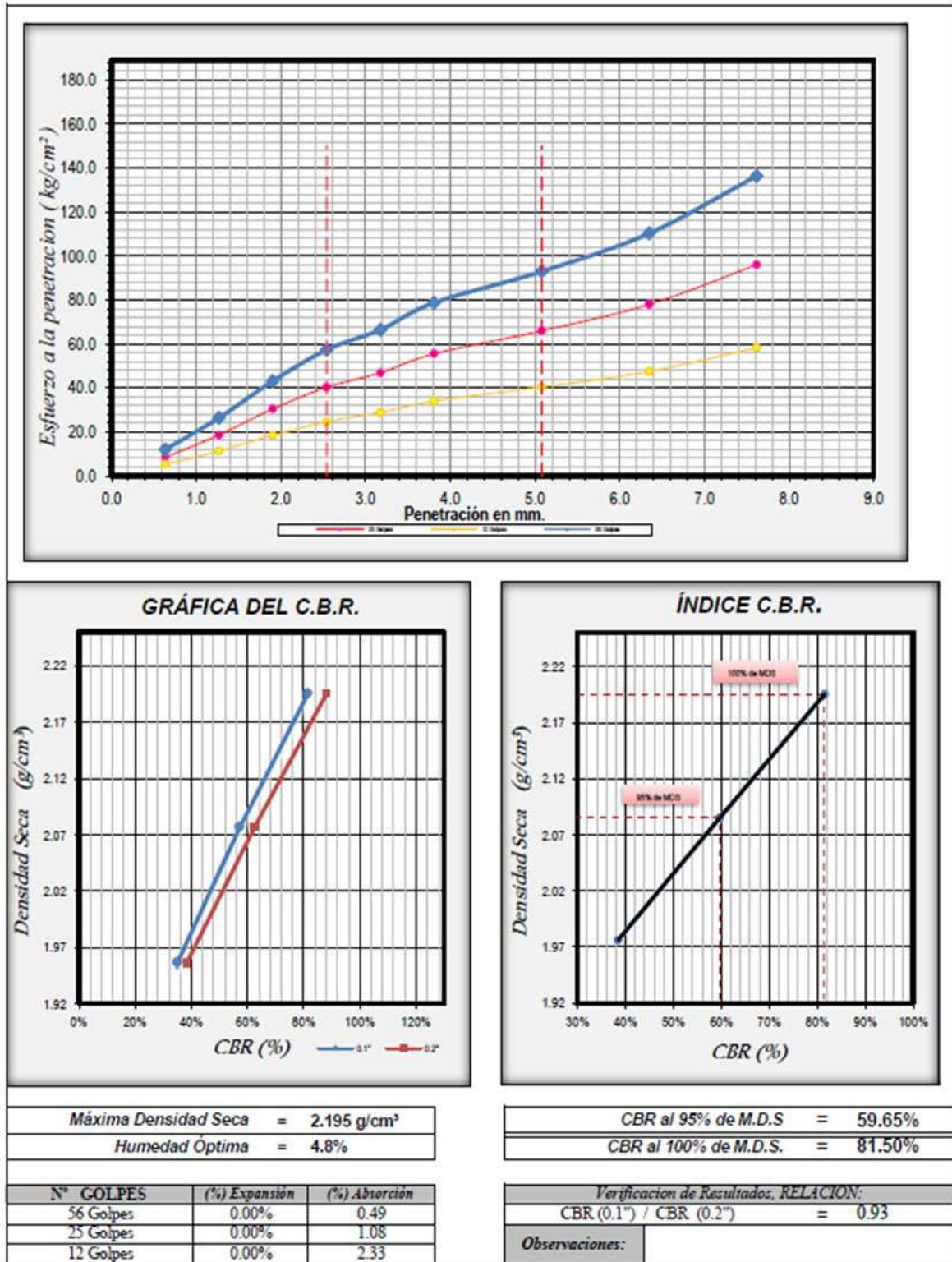
Ensayo Valor de Soporte de Suelos - CBR, Norma MTC E 132 - 2000											
DATOS DEL MOLDE		Unidad	Molde N° A	Molde N° C	Molde N° B	Datos Generales - CBR					
Altura	cm	11.63	11.63	11.63	Dens. Max Seca = 2.196 g/cm ³						
Diámetro	cm	15.22	15.25	15.2	Humedad optimo = 4.8%						
Volumen	cm ³	2116	2124	2114	Humedad Natural = 5.67%						
DATOS DE COMPACTACION		Unidad	56 Golpes	25 Golpes	12 Golpes	Peso del martillo = 10 lb					
Peso del Molde y Muestra Compacta	g	12643	12128	12044	Altura del martillo = 18.0 pulg						
Peso del Molde	g	7774	7501	7711	Peso del disco esp. = 9 lb						
Peso de la Muestra Compacta	g	4869	4627	4333	Altura del disco esp. = 2.4 pulg						
Densidad Humeda	g/cm ³	2.301	2.178	2.050	Número de Capas = 5 capas						
Densidad Seca	g/cm ³	2.195	2.077	1.956	Número de golpes = 56						
CAPSULA N°		Unidad	T-61	T-58	T-63	Datos del ensayo de Compactación					
Peso de la Capsula	g	101.9	224.8	108.5	O.C.H = 2.165 g/cm ³						
Peso de la Capsula + Suelo Humedo	g	714.4	842.5	849.4	M.D.S = 4.8%						
Peso del Capsula + Suelo Seco	g	686.2	813.8	815.7							
Peso del Agua	g	28.2	28.7	33.7							
Peso del Suelo Seco	g	584.3	589.0	707.2							
Contenido de Humedad	%	4.8	4.9	4.8							
Contenido de Humedad Promedio	%	4.8	4.9	4.8							
DATOS DE ABSORCIÓN		Unidad	56 Golpes	25 Golpes	12 Golpes						
Peso M+M C. después de Inmersión	g	12667	12178	12145							
Peso del Molde y Muestra Compacta	g	12643	12128	12044							
Porcentaje de Absorción	%	0.49	1.08	2.33							
CTE. DIAL EXPANSION		1	Molde N° A			Molde N° C			Molde N° B		
FECHA	HORA	Tiempo	Dial mm	Pulg.	% Exp.	Dial mm	Pulg.	% Exp.	Dial mm	Pulg.	% Exp.
30/09/2022	10.00	00 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%
01/10/2022	10.00	24 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%
02/10/2022	10.00	48 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%
03/10/2022	10.00	72 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%
04/10/2022	10.00	96 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%
Diámetro del Pistón = 4.96 cm			Molde N° A			Molde N° C			Molde N° B		
Área Pistón = 19.32 cm ²			56 Golpes			25 Golpes			12 Golpes		
Tiempo	PENETRACION		Dial	Carga Kg-f	Estuer. Kg/cm ²	Dial	Carga Kg-f	Estuer. Kg/cm ²	Dial	Carga Kg-f	Estuer. Kg/cm ²
	(mm)	(pulg)									
0.5 min	0.64	0.025	90	231.3	12.0	63	163.0	6.4	39	102.2	5.3
1.0 min	1.27	0.050	201	510.1	26.4	141	359.7	18.6	85	218.6	11.3
1.5 min	1.91	0.075	331	833.4	43.1	232	587.5	30.4	140	357.2	18.8
2.0 min	2.54	0.100	442	1107.1	57.3	309	778.9	40.3	187	475.1	24.6
2.5 min	3.18	0.125	514	1283.8	66.4	360	905.1	46.8	220	557.5	28.9
3.0 min	3.81	0.150	611	1520.7	78.7	428	1072.7	55.5	260	657.2	34.0
4.0 min	5.08	0.200	724	1795.7	92.9	510	1274.0	65.9	310	781.4	40.4
5.0 min	6.35	0.250	862	2130.5	110.3	605	1506.1	77.9	365	917.5	47.5
6.0 min	7.62	0.300	1070	2634.5	136.3	748	1854.0	96.0	450	1126.8	58.3

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la capa de Base: Se trata de una Base Granular, con un CBR de 81.5% (determinado en laboratorio – Figura 28), un coeficiente estructural a2 de 0.132 por pulgada y un módulo de elasticidad de 28000 PSI.

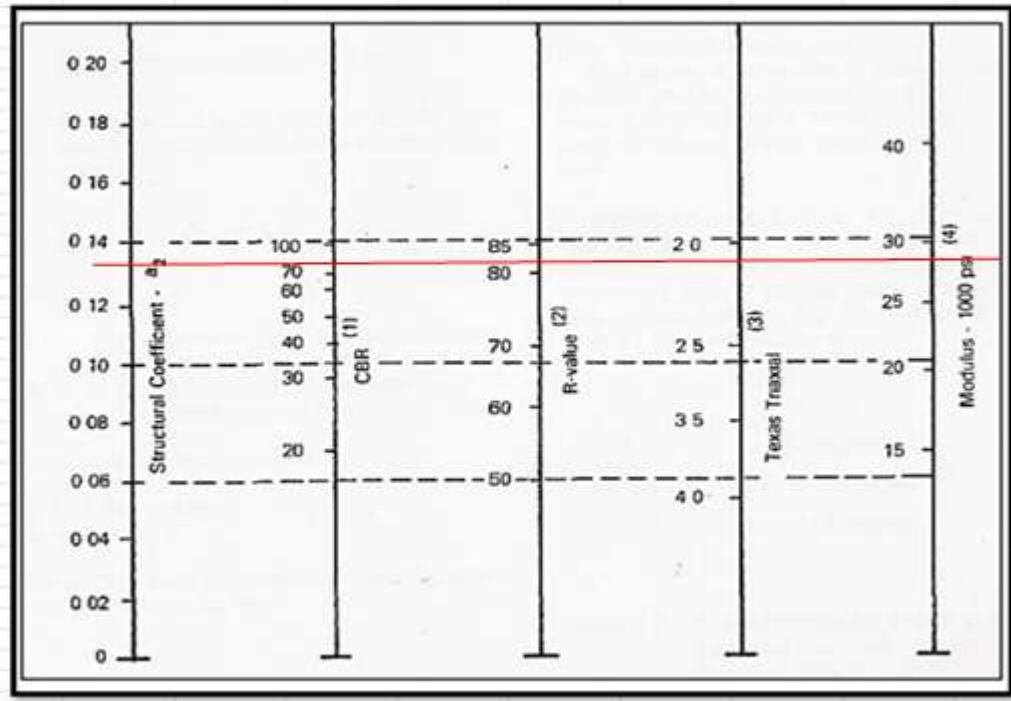


Tabla 45: Grafico para cálculo de CBR - capa de base.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46: *Coefficiente estructural y módulo de elasticidad para capa de base.*



Fuente: Manual del MTC, sección de suelos y pavimentos 2014

De la tabla previa, se extraen los valores del módulo de elasticidad de la base y el coeficiente estructural, de acuerdo con el valor de CBR que es del 81.5%.

- En relación con la capa de Subbase: Se trata de una Subbase Granular, con un CBR de 60.4% (determinado en el laboratorio – Figura 6), un coeficiente estructural a_2 igual a 0.130 por pulgada y un módulo de elasticidad de 18500 PSI.



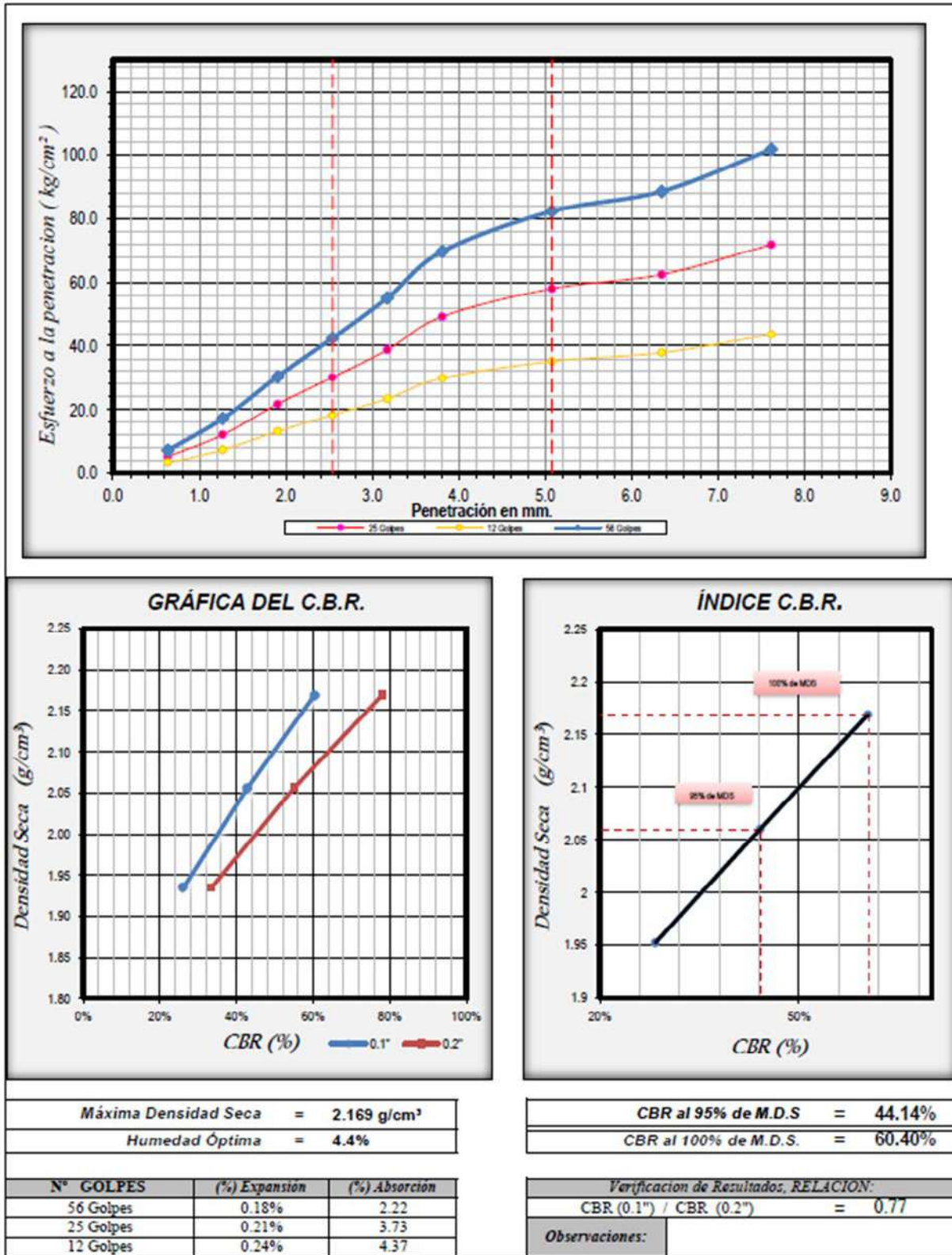
Tabla 47: Ensayo para CBR – capa de subbase.

Ensayo Valor de Soporte de Suelos - CBR, Norma MTC E 132 - 2000												
DATOS DEL MOLDE			Unidad	Molde N° A	Molde N° S	Molde N° B	Datos Generales - CBR					
Altura			cm	11.62	11.62	11.63	Dens. Max Seca = 2.169 g/cm ³					
Diámetro			cm	15.218	15.25	15.219	Humedad optimo = 4.4%					
Volumen			cm ³	2114	2122	2116	Humedad Natural = 5.38%					
DATOS DE COMPACTACIÓN			Unidad	56 Golpes	25 Golpes	12 Golpes	Peso del martillo = 10 lb					
Peso del Molde y Muestra Compacta			g	12495	12077	12175	Altura del martillo = 18.0 pulg					
Peso del Molde			g	7711	7516	7899	Peso del disco esp. = 9 lb					
Peso de la Muestra Compacta			g	4784	4561	4276	Altura del disco esp. = 2.4 pulg					
Densidad Humeda			g/cm ³	2.264	2.149	2.021	Número de Capas = 5 capas					
Densidad Seca			g/cm ³	2.169	2.056	1.934	Número de golpes = 56					
CAPSULA N°			Unidad	T-70	T-45	T-55	Datos del ensayo de Compactación					
Peso de la Capsula			g	127.8	302.6	253.9	O.C.H = 2.159 g/cm ³					
Peso de la Capsula + Suelo Humedo			g	885.9	799.6	819.6						
Peso del Capsula + Suelo Seco			g	854.2	778.1	795.3	M.D.S = 4.4%					
Peso del Agua			g	31.7	21.5	24.3						
Peso del Suelo Seco			g	726.4	475.5	541.4						
Contenido de Humedad			%	4.4	4.5	4.5						
Contenido de Humedad Promedio			%	4.4	4.5	4.5						
DATOS DE ABSORCIÓN			Unidad	56 Golpes	25 Golpes	12 Golpes						
Peso M+M C. después de Inmersión			g	12601	12247	12362						
Peso del Molde y Muestra Compacta			g	12495	12077	12175						
Porcentaje de Absorción			%	2.22	3.73	4.37						
CTE. DIAL EXPANSION			1	Molde N° A			Molde N° S			Molde N° B		
FECHA	HORA	Tiempo	Dial mm	Pulg.	% Exp.	Dial mm	Pulg.	% Exp.	Dial mm	Pulg.	% Exp.	
22/09/2022	10.00	00 horas	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	0.00	0.000	0.00%	
23/09/2022	10.00	24 horas	0.19	0.007	0.16%	0.22	0.009	0.19%	0.25	0.010	0.21%	
24/09/2022	10.00	48 horas	0.20	0.008	0.17%	0.23	0.009	0.20%	0.26	0.010	0.22%	
25/09/2022	10.00	72 horas	0.21	0.008	0.18%	0.23	0.009	0.20%	0.27	0.011	0.23%	
26/09/2022	10.00	96 horas	0.21	0.008	0.18%	0.24	0.009	0.21%	0.28	0.011	0.24%	
Diámetro del Pistón = 4.96 cm			Molde N° A			Molde N° S			Molde N° B			
Área Pistón = 19.32 cm ²			56 Golpes			25 Golpes			12 Golpes			
Tiempo	PENETRACION		Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.	
	(mm)	(pulg)		Kg-f	Kg/cm ²		Kg-f	Kg/cm ²		Kg-f	Kg/cm ²	
0.5 min	0.64	0.025	54	140.2	7.3	39	102.2	5.3	24	64.1	3.3	
1.0 min	1.27	0.050	130	332.1	17.2	91	233.8	12.1	55	142.8	7.4	
1.5 min	1.91	0.075	232	587.5	30.4	165	420.0	21.7	99	254.0	13.1	
2.0 min	2.54	0.100	326	821.0	42.5	230	582.5	30.1	139	354.7	18.4	
2.5 min	3.18	0.125	425	1065.3	55.1	297	749.1	38.8	178	452.5	23.4	
3.0 min	3.81	0.150	540	1347.4	69.7	379	952.0	49.3	228	577.5	29.9	
4.0 min	5.08	0.200	640	1591.4	82.4	448	1121.9	58.1	269	679.6	35.2	
5.0 min	6.35	0.250	690	1713.1	88.7	483	1207.8	62.5	290	731.8	37.9	
6.0 min	7.62	0.300	795	1968.1	101.9	557	1388.9	71.9	335	843.3	43.6	

Fuente: Elaboración Propia

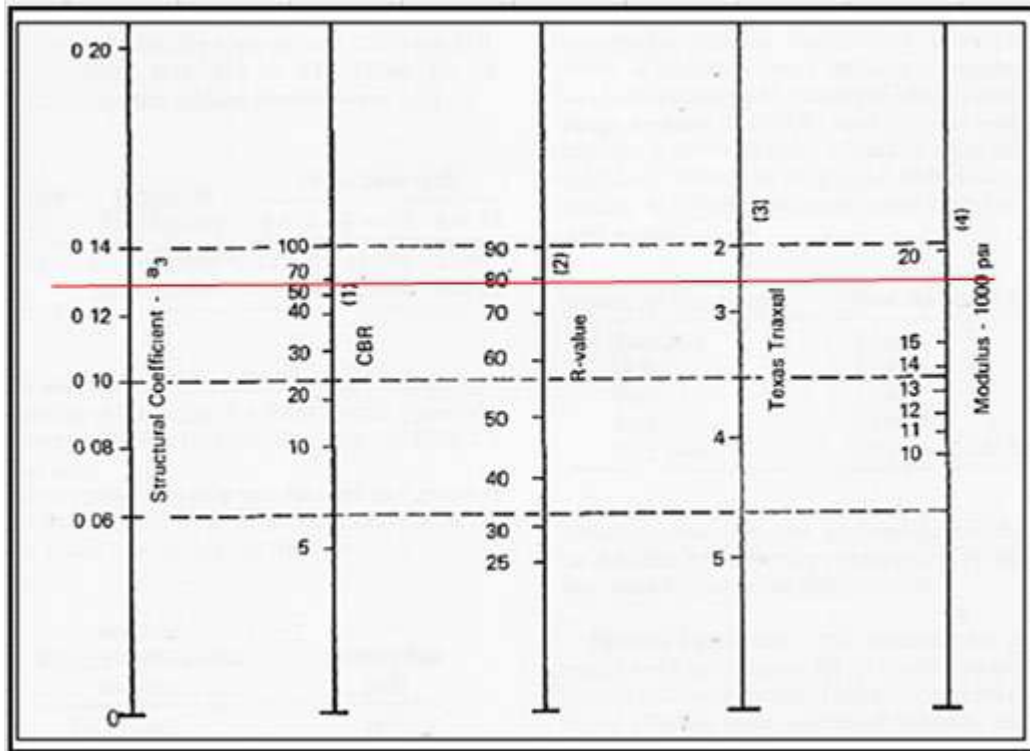


Tabla 48: Grafico para cálculo de CBR – capa de subbase.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 49: Coeficiente estructural y módulo de elasticidad para capa de subbase.



Fuente: Manual del MTC, sección de suelos y pavimentos 2014

De la tabla previa, se extraen los valores del módulo de elasticidad de la subbase y el coeficiente estructural, basándose en el valor de CBR que es del 60.4%.

7.1.4.11. Coeficiente de Drenaje de las capas de Base y Subbase.

Para observar el impacto del drenaje en la estructura del pavimento, esto depende de la efectividad del drenaje y del porcentaje de exposición del pavimento a condiciones cercanas a la saturación de humedad.



Tabla 50: *Calidad de drenaje.*

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO EN QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: Manual del MTC, sección de suelos y pavimentos 2014

Tabla 51: *Niveles de humedad cercano a saturación.*

CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCAÑO A LA SATURACIÓN.			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 - 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Manual del MTC, sección de suelos y pavimentos 2014

Según el SENAMHI, las lluvias o temporada de precipitaciones comienzan en noviembre y se extiende hasta marzo, siendo los meses de mayor intensidad enero, febrero y marzo. Por lo tanto, considerando los 365 días del año, se calcula la proporción de días lluviosos en diciembre, enero, febrero y marzo, resultando que el tiempo de exposición de la estructura a niveles cercanos a la saturación de humedad varía entre 5% y 25%. La calidad del drenaje, según el tipo de suelo, no sería óptima, ya que 2 horas de evacuación serían insuficientes y 1 día sería el máximo. Sin embargo, se considera que el drenaje es bueno. Por lo tanto, se emplea un coeficiente de drenaje que oscila entre 1.15 y 1.00, decidiendo asignar un coeficiente de drenaje de 1.00 para la capa de base y de 1.00 para la capa de subbase.

Una vez logrados los parámetros indicados anteriormente, se procede a determinar los espesores de las capas del pavimento.



7.2. Estudio de la sub rasante

7.2.1. Prospección de campo

El propósito de definir las propiedades físico-mecánicas de los materiales de la subrasante consiste en realizar estudios mediante la perforación de pozos exploratorios o calicatas con una profundidad mínima de 1.5 m (en relación con el nivel de la subrasante); aproximadamente cada 1 km, situadas longitudinalmente a distancias similares.

7.2.2. Calicatas

Tiene la finalidad de realizar la prospección geotécnica realizando la excavación a cielo abierto o calicata según norma a 1.50 m. de profundidad. Permitiéndonos la inspección directa del suelo definir el perfil estratigráfico, materiales constituyentes del suelo y la extracción de muestras inalteradas en el total de longitud de la vía. Cabe resaltar que la vía se encuentra pavimentada con asfalto monocapa, el cual se encuentra en pésimas condiciones por los años de servicio la toma de muestras se realizó a un costado de la vía sin dañar el pavimento actual, y la existencia de otros tramos donde existe afloramiento rocoso donde se realizó la descripción visual ubicación y caracterización. para tal fin se realizó proyectaron la realización de 32 calicatas de 1.50 m de profundidad. Ubicadas indistintamente en lado izquierdo, y lado derecho de vía.

7.2.3. Muestreo

Se tomaron muestras de los suelos inalteradas de cada pozo de prospección tomando la cantidad necesaria para realizar los ensayos en laboratorio y poder determinar sus propiedades físico mecánicas del suelo. Estas muestras se tomaron indistintamente e intercaladas de lado izquierdo, centro y lado derecho de vía.

7.2.4. Registro De Calicatas

Paralelamente a la toma de las muestras se realizó la caracterización del suelo, el registro creación del perfil estratigráfico de cada pozo de exploración como determina la norma del MTC. Identificando visualmente las formaciones geológicas presentes sus características de los suelos su estratificación y espesor de estrato.

7.2.5. Trabajo de laboratorio



El total de las muestras representativas recogidas de los estratos de las calicatas del terreno de cimentación deberán someterse a los siguientes análisis:

- Análisis granulométrico por tamizado. (ASTM-D-422)
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. (ASTM-D-4318)
- Clasificación SUCS. (ASTM-D-2487-69)
- Clasificación AASHTO. (ASTM-D-2487-69)
- Humedad Natural. (ASTM-D216)
- Proctor Modificado. (ASTM-D 2487-69)
- C.B.R. (ASTM – C535)
- Abrasión Los Ángeles. (ASTM-C535)

7.2.6. Geotecnia de obras de sostenimiento.

Conforme a las evaluaciones realizadas en el campo por los especialistas en diseño geométrico y estructuras, se estableció la edificación de muros de contención para el apoyo de la plataforma y de ciertos taludes afectados, utilizando una estructura mixta de concreto reforzado, ciclópeo y gaviones, con el fin de determinar la capacidad de carga. Estos se incluirán dentro del Sistema de Manejo de Estructuras (EMS) para garantizar la estabilidad de la plataforma. Debemos ajustarnos a los parámetros establecidos en la normativa vigente del RNE – E-050. 2018.

7.2.7. Calicata o pozo de exploracion

De la calicata o pozos de exploración se determinó según la necesidad de la especialidad de obras de arte la ubicación estrategia de los pozos de exploración, para la apertura de calicata a cielo abierto de una dimensión de 1.50 m de profundidad.

7.2.8. Trabajos de laboratorio.

De la muestra obtenida en campo (insitu), inalterada deberá cumplir como mínimo los siguientes ensayos de laboratorio de suelos los cuales se realizarán en el laboratorio de mecánica de suelos.

7.2.9. Trabajos de campo



De acuerdo al estudio de conteo de tráfico que se tiene en la vía y según el cuadro 4.1 del número de calicatas Para exploración del MTC. Manual de suelos geología, geotecnia y pavimentos se determinó que se deberá tomar una muestra por (Km).

Se realizó la excavación de 32 calicatas donde se realizaron la descripción de visual y el levantamiento del perfil estratigráfico de la formación del suelo que servirá de soporte de vía considerado como sub rasante de vía.

Tabla 52: Normativa para el muestreo de calicatas.

Técnicas auxiliares	Normas aplicables
Calicata	t86-90 - ASTM D420-69
Técnicas de muestreo	ASTM D420-69
descripción visual de suelos	ASTM D 2487

Fuente: Elaboración Propia.

Mediante el trabajo de campo se realizó la evaluación del terreno que nos facilitó la identificación de excavaciones naturales y/o creadas artificialmente, como a su vez permitió identificar la geología de la zona la disposición de los estratos del suelo superficial, identificar las similitudes del suelo en todo el tramo de la vía. Dispuestos estratégicamente en cada lado de la vía.

Las muestras se empaquetaron y trasladaron al laboratorio de la GRTC. Para establecer sus propiedades físicas y mecánicas y como a su vez se realizó la clasificación visual de los suelos para la elaboración del perfil en cada tramo.

7.2.10. Calicatas de exploración

Se realizaron los muestreos a partir de calicatas a cielo abierto (32 calicatas) hasta los 1,50m. de profundidad cada 1km aproximadamente según lo establecido en el manual MTC, suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

Tabla 107: Resumen de ubicación de Calicatas (Sistema UTM WGS84).

Tabla 53: Resumen de ubicación de Calicatas (Sistema UTM WGS84).

Calicata	Progresiva	Coordenadas UTM			
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	ZONA



C - 01	00+020	184361	8538091	4106	19L
C - 02	01+380	183883	8538435	4110	19L
C - 03	02+560	182648	8538952	4159	19L
C - 04	03+515	182192	8538780	4191	19L
C - 05	04+500	181899	8538545	4240	19L
C - 06	05+810	181029	8538761	4292	19L
C - 07	06+510	181228	8539093	4302	19L
C - 08	07+515	181385	8539266	4370	19L
C - 09	08+430	181455	8539518	4390	19L
C - 10	09+350	181401	8539857	4338	19L
C - 11	10+735	181151	8540069	4247	19L
C - 12	11+745	180974	8540264	4182	19L
C - 13	12+825	180395	8541057	4123	19L
C - 14	13+500	180236	8541106	4083	19L
C - 15	14+440	179676	8541418	4018	19L
C - 16	15+510	179367	8541782	3956	19L
C - 17	16+160	179113	8541766	3919	19L
C - 18	17+595	178151	8542322	3920	19L
C - 19	18+630	177642	8543154	3876	19L
C - 20	19+750	176879	8543927	3828	19L
C - 21	20+430	176251	8544157	3793	19L
C - 22	21+550	175165	8544345	3747	19L
C - 23	22+240	825070	8544232	3694	18L
C - 24	23+030	825191	8544290	3652	18L
C - 25	24+735	823776	8544968	3553	18L
C - 26	25+870	823180	8545649	3493	18L
C - 27	26+740	822819	8546392	3368	18L
C - 28	27+795	822622	8546687	3369	18L
C - 29	28+710	822381	8547544	3333	18L
C - 30	29+730	821863	8548295	3285	18L
C - 31	30+865	821033	8548870	3249	18L
C - 32	32+116	820636	8549429	3198	18L

Fuente: Elaboración Propia.

7.2.11. Muestreo y registro de exploración

El muestro realizado en la carretera tramo Quellopuito – Lares se realizó según norma técnica ASTM D 420 -69. Dentro de la exploración de suelos se realizó la descripción y clasificación visual de los estratos los cuales se presenta en cada tramo de vía, como así determinar visualmente la similitud de suelos en la vía.

Las calicatas de exploración fueron ubicadas cada 1km aproximadamente ubicadas alternadamente e indistintamente en toda la vía. Los pozos de exploración se realizaron con una retroexcavadora hasta una profundidad de 1.50 m. donde se realizó el muestreo inalterado respectivo y su descripción estratigráfica. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio. Para su respectivo ensayo para determinar sus propiedades físico – mecánicas del suelo.



Fotografía 15: Apertura de la Calicata 01 (Km 00+020)



Fotografía 16: Apertura de Calicatas a lo largo de la vía para la evaluación de la Subrasante.

7.2.12. Ensayos de laboratorio

Se realizaron los siguientes ensayos según norma técnica las cuales se mencionan a continuación:

Tabla 54: Ensayos de Laboratorio y sus Normas Técnicas MTC y ASTM.

ITEM	ENSAYO	NORMA TÉCNICA	
1	Humedad natural	ASTM D 2216	MTC E 108
2	Análisis granulométrico	ASTM D 421	MTC E 107
3	Límite líquido	ASTM D 423	MTC E 110
4	Límite plástico	ASTM D 424	MTC E 111
5	Clasificación de suelos (SUCS)	ASTM D 2487	
6	Ensayo Proctor modificado	ASTM D1557	MTC E 115
7	Ensayo CBR	ASTM D1883	MTC E 132
8	Abrasión (máquina de los ángeles)	ASTM C131-1998	MTC E 207
9	Equivalente de arena	ASTM D2419	MTC E 114
10	Peso Especifico	ASTM D 128	MTC E 206
12	Partículas Largas y Achatadas	ASTM D 4791	MTC E 223
13	Partículas Fracturadas	ASTM D 5821	MTC E 210
14	Durabilidad con Sulfato de Magnesio	ASTM C 88-13	MTC E 209



Fuente: Elaboración Propia.

7.2.13. CBR de la sub-rasante

Se analizarán para determinar el CBR de la subrasante las capas superficiales de terreno natural o la capa de la plataforma en relleno, formada por los últimos 1.50 m de espesor por debajo del nivel de la subrasante proyectada. Su capacidad de carga en condiciones operativas, junto con el tráfico y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables fundamentales para el diseño de la estructura del pavimento que se instalará encima. La subrasante correspondiente al fondo de las excavaciones en terreno natural o a la última capa del terraplén se clasificará según el CBR representativo para el diseño, en 1 de las 5 clasificaciones:

Tabla 55: *Categorías de la Subrasante*

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

Los ensayos de CBR para subrasante fueron desarrollados cada 1.0 km de los cuales los CBR al 95% oscilan con valores entre 5.02% y 38.41%.

Los sectores donde se recomienda realizar un mejoramiento de subrasante están ligados a los valores de CBR obtenidos en estos, los cuales oscilan entre 5.02 y 5.98, y los sectores donde no son necesarios un mejoramiento de subrasante y representa un porcentaje del 80% de la vía, presenta valores que oscilan entre 6.85% y 38.41%.

7.2.14. Sectores de características homogéneas

Para el diseño de la estructura del pavimento, se definirán áreas homogéneas en las que, a lo largo de cada una de ellas, las propiedades del material del suelo de cimentación o de la capa de subrasante se identifiquen como uniformes. Esta uniformidad



se determinará con base en las características físico-mecánicas de los suelos (clasificación, plasticidad). El proceso de sectorización requiere del análisis y juicio del diseñador. Para identificar los sectores con características homogéneas, se llevará a cabo un programa de exploraciones y pruebas, estableciendo una estrategia para realizar el programa investigativo y, a partir de ello, se organizará la toma de muestras necesarias de cada perforación, con el fin de evaluar las características que, siendo determinantes en su comportamiento, sean de fácil y clara determinación. Las propiedades esenciales a considerar son:

7.2.14.1. Granulometría

Desde la cual es posible estimar, con mayor o menor precisión, las otras propiedades que puedan ser de interés. El análisis granulométrico de un suelo tiene como objetivo determinar la proporción de sus diversos componentes, clasificados según su tamaño. En función del tamaño de las partículas del suelo, se definen los siguientes términos.

Tabla 56: *Clasificación de suelos según el tamaño de partículas*

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.2.14.2. Plasticidad

No está sujeto a los componentes gruesos que posee, sino solamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite observar esta característica, por lo que es necesario establecer los Límites de Atterberg. Mediante este método, se definen los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites, denominados límites de Atterberg, y de los cinco límites definidos por Atterberg, los más relevantes son: el límite líquido (LL), determinado conforme a la norma MTC E 110, el límite plástico (LP), establecido según la norma MTC E 111, y el límite de contracción (LC), determinado según la norma MTC E 112.

Además del LL y del LP, una propiedad a determinar es el índice de plasticidad IP, que se define como la diferencia entre LL y LP.

$$IP = LL - LP$$



Fotografía 17: *Determinación de Limite Liquido con la cuchara de Casagrande*

El índice de plasticidad facilita una buena clasificación de un suelo. Un IP alto indica un suelo con alta concentración de arcilla. En cambio, un IP bajo es indicativo de un suelo con baja cantidad de arcilla. Principalmente, esto permite:

Tabla 57: *Clasificación de suelos según el Índice de Plasticidad*

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

Es importante considerar que, en un suelo, el contenido de arcilla es el factor más problemático para una carretera, principalmente debido a su alta sensibilidad al agua.

7.2.14.3. Índice de grupo



Es un índice utilizado por AASHTO de manera común para clasificar suelos, y se basa en gran medida en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se determina mediante la fórmula: $IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01 (bd)$.

Donde:

- $a = F-35$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200 -74 micras). Expresado por un número positivo comprendido entre 0 y 40.
- $b = F-15$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200 -74 micras). Expresado por un número positivo comprendido entre 0 y 40.
- $c = LL - 40$ (LL = límite líquido). Expresado por un número positivo comprendido entre 0 y 20.
- $d = IP-10$ (IP = índice plástico). Expresado por un número positivo comprendido entre 0 y 20.

El índice de grupo es un valor numérico entero positivo, que varía entre 0 y 20. Un índice de cero indica un suelo excelente, mientras que un índice de 20 señala un suelo inadecuado para carreteras, si el suelo de soporte tiene:

Tabla 112: Clasificación de suelos según el índice de grupo

Tabla 58: Clasificación de suelos según el índice de grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Sub rasante
IG > 9	Inadecuado
IG está entre 4 a 9	Insuficiente
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.2.14.4. Humedad natural

Otra cualidad relevante de los suelos es su humedad inherente, ya que la resistencia de los suelos de soporte, especialmente los finos, está directamente vinculada a las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. Esta se determinará de acuerdo con la norma MTC E 108. La medición de la humedad inherente permitirá compararla con la humedad ideal obtenida en los ensayos Proctor para calcular el CBR del



suelo. Si la humedad inherente es igual o menor que la humedad ideal, el experto recomendará la compactación estándar del suelo y la adición de la cantidad adecuada de agua. Si la humedad inherente excede la humedad ideal, y en función de la saturación del suelo, se sugerirá aumentar la energía de compactación, airear el suelo o sustituir el material saturado.

7.2.14.5. Clasificación de los suelos

Una vez determinadas las propiedades de los suelos, de acuerdo con los puntos anteriores, se podrá prever con suficiente exactitud el comportamiento de los suelos, especialmente mediante el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo, y luego clasificar los suelos. La clasificación de los suelos se realizará según el sistema ilustrado en el cuadro. Esta clasificación permite anticipar el comportamiento aproximado de los suelos, lo que ayudará a definir los sectores homogéneos desde la perspectiva geotécnica. A continuación, se presenta una correlación entre los dos sistemas de clasificación más utilizados, AASHTO y ASTM.

Tabla 59: *Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS*

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.2.14.6. CBR

Una vez que se hayan categorizado los suelos según los sistemas AASHTO y SUCS, para carreteras se confeccionará un perfil estratigráfico para cada área homogénea. A partir de este perfil, se determinarán los suelos que influirán en el diseño y se establecerá el plan de pruebas y/o correlaciones para determinar el CBR, que es el valor de soporte o

resistencia del suelo, en relación al 95% de la DMS (Densidad Máxima Seco) y a una penetración de carga de 2.54 mm.



Fotografía 18: *Ensayo de CBR (compactación) en laboratorio*

Para calcular el Valor de Soporte Relativo del suelo de cimentación, se realizarán pruebas de California Bearing Ratio (CBR) para cada clase de suelo y se efectuará un control cada 1.0 km como máximo.

Para la obtención del valor CBR diseño, se debe considerar lo siguiente:

1. Cuando haya 6 o más valores de CBR para cada tipo de suelo representativo o para una sección con características homogéneas de suelos, calcular el valor de CBR de diseño para la subrasante tomando en cuenta el promedio general.
2. Cuando haya menos de 6 valores de CBR para cada tipo de suelo representativo o para una sección con características homogéneas de suelos, tener en cuenta lo siguiente:
 - Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (más bajo).
3. Tras establecer el valor de CBR de diseño para cada área con características uniformes, se determinará a cuál categoría de subrasante corresponde el área o tramo.



Tabla 60: Clasificación de la Subrasante según el CBR.

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: Manual del MTC (sección de suelos y pavimentos 2014)

7.2.14.7. Otras consideraciones

En caso la subrasante sea clasificada como pobre (CBR < 6%), se procederá a estabilizar los suelos, eligiendo la más conveniente y económica para la carretera Quelloputo – Lares siendo la más adecuada la el remplazo de la sub rasante por ser trabajos puntuales y en distancias cortas, mediante el cambio de sub rasante consolidación mediante geosintéticos u otros materiales autorizados por el MTC, aumento de la subrasante, modificación del trazado vial eligiendo la más adecuada y económicamente viable. (Manual de Carreteras – Suelos, Geotecnia, Geotecnia y Pavimento – Sección: Suelos y Pavimentos)

Si se detectan terrenos saturados o blandos, o un nivel freático elevado (cercano a la base de la subrasante), el ingeniero definirá las acciones para la estabilización (modificación de material, incorporación de roca, pedraplén, etc.), especificando materiales relativamente permeables y diseñando los sistemas de drenaje y/o subdrenaje que faciliten la evacuación del agua.

Para la planificación y la ejecución de los trabajos de pavimentación, se deberán considerar las sugerencias y condiciones del diseño del sistema de drenaje, de acuerdo con los criterios determinados del “Manual de Carreteras – Suelos, Geotecnia, Geotecnia y Pavimento – Sección: Suelos y Pavimentos”.

En áreas situadas a más de 3,000 metros sobre el nivel del mar, se evaluará el impacto de las heladas en los terrenos. En general, el efecto de congelamiento está



vinculado con la profundidad del nivel freático y la predisposición del suelo a congelarse. Si la profundidad del nivel freático excede 1.50 metros, el efecto de congelamiento no alcanzará la capa superior de la subrasante. En caso de que se encuentren suelos propensos al congelamiento en la capa superior de la subrasante (los últimos 0.60 metros), se deberá reemplazar dicho suelo en el espesor afectado o elevar la rasante con un material granular apropiado hasta alcanzar el nivel requerido.

Con la salvedad de los terrenos de soporte permeables, es preciso planificar el drenaje de la estructura del pavimento, considerando como capa de drenaje la capa granular, o la subbase granular, o ambas, bien sea mediante drenajes secundarios o extendiendo la capa de drenaje hasta los taludes de los terraplenes o canales. Del mismo modo, deben establecerse pendientes transversales mínimas en la subrasante, la subbase y la capa granular.

Los drenajes secundarios que se deben diseñar para captar infiltraciones o reducir un nivel freático alto, también pueden ser utilizados para drenar la estructura del pavimento. Cuando el suelo de soporte o la capa de subrasante sea arcilloso o limoso y, al humedecerse, las partículas de estos materiales puedan infiltrarse en las capas granulares del pavimento contaminándolas, se deberá proyectar una capa de material filtrante con un grosor mínimo de 10 cm.

A continuación, se presentan los parámetros del suelo correspondientes a los análisis de laboratorio realizados en las 32 excavaciones de vía.

Tabla 61: Resultados finales de los ensayos realizados en laboratorio para las calicatas.

CALICATA	PROGRESIVA	Humedad Natural	CLASIFICACION		Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad	Compactación		CBR	
			SUCS	AASHTO				M.D.S.	C.H.O.	al 95%	al 100%
C-01	00+020	7.50%	GC	A-2-7 (0)	41.65%	23.15%	18.50%	1.917 g/cm ³	7.10%	7.30%	12.90%
C-02	01+380	4.20%	SC-SM	A-2-4 (0)	26.84%	20.16%	6.67%	1.895 g/cm ³	7.30%	5.98%	8.10%
C-03	02+560	8.70%	SC-SM	A-2-4 (0)	23.86%	17.37%	6.50%	1.953 g/cm ³	7.30%	7.65%	11.40%
C-04	03+515	4.30%	GP-GC	A-2-4 (0)	26.35%	18.47%	7.88%	---	---	---	---



C-05	04+500	4.60%	GM	A-1-a (0)	19.02%	15.54%	3.47%	2.133 g/cm ³	4.70%	14.51%	32.20%
C-06	05+810	4.70%	GC-GM	A-1-a (0)	20.32%	15.61%	4.71%	2.184 g/cm ³	4.60%	11.99%	32.90%
C-07	06+510	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA
C-08	07+515	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA
C-09	08+430	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA
C-10	09+350	9.80%	SP-SC	A-2-4 (0)	27.41%	17.44%	9.97%	1.864 g/cm ³	7.80%	5.84%	9.00%
C-11	10+735	4.10%	GC	A-2-4 (0)	24.61%	16.41%	8.20%	2.090 g/cm ³	5.00%	15.01%	18.90%
C-12	11+745	8.30%	GC	A-2-4 (0)	28.48%	20.66%	7.82%	---	---	---	---
C-13	12+825	3.80%	GC-GM	A-1-a (0)	20.93%	15.60%	5.33%	2.049 g/cm ³	5.00%	6.85%	12.40%
C-14	13+500	7.60%	GC	A-2-4 (0)	28.24%	19.41%	8.82%	---	---	---	---
C-15 (E-1)	14+440	29.30%	SM	A-7-5 (0)	47.63%	31.32%	16.32%	---	---	---	---
C-15 (E-2)	14+440	23.90%	SC	A-4 (1)	31.16%	22.25%	8.91%	1.820 g/cm ³	9.00%	5.02%	7.00%
C-16	15+510	8.60%	GC	A-2-4 (0)	31.68%	21.80%	9.88%	---	---	---	---
C-17	16+160	4.60%	GC-GM	A-1-a (0)	20.01%	15.10%	4.92%	2.079 g/cm ³	5.80%	9.40%	19.30%
C-18	17+595	5.00%	GP-GM	A-1-a (0)	19.06%	15.42%	3.64%	2.182 g/cm ³	4.70%	15.03%	26.30%
C-19	18+630	4.30%	GC-GM	A-2-4 (0)	19.28%	12.96%	6.32%	---	---	---	---
C-20	19+750	6.00%	GM	A-1-b (0)	18.54%	14.90%	3.64%	2.204 g/cm ³	6.70%	24.87%	53.90%
C-21	20+430	6.30%	GM	A-1-b (0)	19.68%	16.22%	3.46%	---	---	---	---
C-22	21+550	5.10%	GC	A-2-4 (0)	27.75%	18.37%	9.38%	2.022 g/cm ³	7.90%	8.32%	15.20%
C-23	22+240	5.20%	GC-GM	A-1-b (0)	18.37%	13.66%	4.71%	---	---	---	---
C-24 (E-1)	23+030	5.40%	SC	A-2-4 (0)	30.82%	22.61%	8.21%	---	---	---	---
C-24 (E-2)	23+030	4.00%	GW-GM	A-1-a (0)	20.06%	16.86%	3.20%	2.213 g/cm ³	5.10%	38.41%	67.50%
C-25	24+735	4.00%	GP-GC	A-2-6 (0)	26.74%	15.50%	11.24%	2.048 g/cm ³	6.70%	9.79%	15.40%
C-26	25+870	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA	ROCA
C-27	26+740	2.00%	GC-GM	A-1-b (0)	21.66%	16.11%	5.55%	1.964 g/cm ³	8.40%	10.33%	13.70%
C-28	27+795	8.80%	GC-GM	A-1-a (0)	20.38%	14.37%	6.01%	---	---	---	---
C-29	28+710	5.80%	GW	A-2-4 (0)	25.88%	18.75%	7.13%	---	---	---	---
C-30 (E-1)	29+730	10.00%	SC	A-2-6 (0)	32.37%	21.00%	11.37%	---	---	---	---
C-30 (E-2)	29+730	9.50%	SC-SM	A-2-4 (0)	25.44%	18.47%	6.97%	1.827 g/cm ³	9.40%	4.74%	7.00%
C-31	30+865	6.50%	GC	A-2-4 (0)	26.61%	16.59%	10.03%	2.114 g/cm ³	7.70%	16.04%	26.70%
C-32	32+116	4.90%	GC-GM	A-1-a (0)	24.49%	18.47%	6.02%	2.226 g/cm ³	6.15%	20.25%	32.40%

Fuente: Elaboración Propia.

7.2.15. Normas aplicadas al presente estudio de mecánica de suelos.

Se ha desarrollado siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en el “MANUAL DE SUELOS GEOLOGIA GEOTECNIA Y PAVIMENTOS RD N° 10-2014-MTC/14 (09.04.2014), MANUAL ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS RD N° 18-2016-MTC/14 (030632016)



- 1) Manual de diseño de carreteras Pavimentadas de bajo volumen de tránsito (realizado por la Dirección General de Caminos y Ferro carriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones).
- 2) Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras (EG - 2013), aprobado mediante RD N° 22-2013-MTC/14(07.08.2013), realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- 3) Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (del Reglamento Nacional de Edificaciones) realizado por el Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento.

7.2.15.1. Lista de normas utilizadas:

- Muestreo de Suelos y Rocas MTC E 101
- Reducción de muestras de campo a muestras de ensayo MTC E 103
- Conservación y Transporte de muestras de suelos MTC E 104
- Obtención en laboratorio de muestras representativas MTC E 105
- Análisis granulométrico de Suelos por Tamizado MTC E 107
- Contenido de Humedad de un suelo MTC E 108
- Determinación del Límite Líquido de los Suelos MTC E 110
- Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad MTC E 111
- Gravedad Específica de los Suelos MTC E 113
- Relaciones Humedad - Densidad (Proctor modificado) MTC E 115
- Relación de Soporte de California (CBR) MTC E 132
- Clasificación de Suelos según SUCS ASTM D-2487
- Clasificación de suelos según AASHTO AASHTO M-145

7.2.16. Nivel freático

Se ha evidenciado nivel freático en dos calicatas del total de las excavadas a una profundidad variable entre 1.20m y 1.30m, a continuación, se muestra el cuadro resumen:

Tabla 62: Calicatas con presencia de Nivel freático

Calicata	Nivel freático	Progresiva	Estrato	Tipo de suelo
C-10	1.30 m.	09+350	2	SP-SC
C-29	1.20 m.	28+710	2	GW



Fuente: Elaboración Propia

Este nivel freático se ha encontrado en las progresivas 09+350 y 28+710 por lo que se asume que podría encontrarse en zonas aledañas alrededor de estos tramos.

7.2.17. Estratos rocosos

Del total de las calicatas aperturadas, en 4 calicatas se ha evidenciado Afloramientos de Material rocoso, el cual representaría un total de 12.5% los cuales ya no se realizan los ensayos de laboratorio como material de Subrasante.

Se estima que de las progresivas que corresponden a los puntos excavados, también se pueda evidenciar material Rocosos a nivel de Subrasante en zonas cercanas los puntos evaluados, estos puntos se muestran a continuación:

Tabla 63: *Calicatas con Material Rocosos a nivel de Subrasante.*

Calicata	Progresiva	Tipo de Suelo
C-7	02+260	AFLORAMIENTO ROCOSO
C-8	03+180	AFLORAMIENTO ROCOSO
C-9	06+175	AFLORAMIENTO ROCOSO
C-26	06+510	AFLORAMIENTO ROCOSO

Fuente: Elaboración Propia

7.2.18. Estabilización de suelos

La estabilización de suelos que se está tomando en cuenta está basada a los ensayos de laboratorio y el CBR obtenido al 95% en estas calicatas, los tramos más críticos y que requieren mejoramiento a nivel de subrasante se muestran a continuación:

Tabla 64: *Calicatas que requieren mejoramiento a nivel de Subrasante.*

Calicatas	Progresivas	CBR al 95%
C-2	01+380	4.98%
C-10	09+350	5.84%
C-15	14+440	5.02%
C-30	29+730	4.74%

Fuente: Elaboración Propia



Para el mejoramiento a nivel de Subrasante de estos sectores críticos, se recomienda hacer uso de las Canteras 01, 02, 03, 05, 06 que presentan un CBR al 95% por encima del 10%, lo cual según la normativa vigente cumplen con los estándares mínimos para hacer su uso en la estabilización de estos suelos, además también se recomienda evaluar las zonas aledañas a estos tramos críticos para verificar la delimitación de estos suelos en el tramo.

7.3. Estudio de canteras

7.3.1. Ubicación de canteras

Las canteras se encuentran en el trazo de la vía, se mencionan a continuación dicha cantera:

- ✓ Cantera 01 Talud sector Anqas km 04+900 LI
Coordenadas UTM (181571.265 E – 8538655.154 N)
Altura: 4261.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 02, Talud, sector Ccancau KM 17+600 LI
Coordenadas UTM :178150.88E – 8542322.338 N
Altura: 3921.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 03, Talud sector Occopata km 20+100 LI
Coordenadas UTM :176543.963 E – 8544055.045 N
Altura: 3813.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 04, Talud sector Ccolpampata km 21+880 LI
Coordenadas UTM : 174880.875 E – 8544217.029 N
Altura: 3714.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 05, Talud sector Pampacorral km 23+440 LI
Coordenadas UTM :820681.79 E – 8544439.627 N
Altura: 3637.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 06, Talud sector Nueva Florida km 31+200 LI
Coordenadas UTM :820681.79 E – 8548921.645 N



Altura: 3224.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 07, Deposito Napacocha a 30 minutos hombro derecho Km 21+900
Coordenadas UTM : 824666.82 E – 8540328.9 N
Altura: 3224.0 M.S.N.M

- ✓ Cantera 08, Morro Blanco rio Vilcanota – Piedra Chancada
Coordenadas UTM : 194076E – 8510988N
Altura: 2983 M.S.N.M

- ✓ Cantera 09, Lamay arena limpia
Coordenadas UTM : 182300 E – 8521308N
Altura: 2931M.S.N.M

- ✓ Diseño sub base
Dosificado 01 Subbase: 75% Cantera 01 Sector Anqcas - 25% Cantera Napacocha.
Dosificado 02 Subbase: 75% Cantera 02; 25% Cantera Napacocha

- ✓ Diseño para Base:
Dosificado 01 de Base: 40% Cantera 02, 30% Cantera 07 Napacacocha, 30% Morro Blanco.
Dosificado 02 de Base: 60% Cantera 08 Morro Blanco (1" 10%, ¾" 20%, ½ 30%);
Cantera 09 ; 40% Arena Limpia de Lamay

Se tiene un total de 7 canteras de las cuales 6 se encuentran en el eje de vía y una con un acceso a 4 Km Aprox. en la Progresiva 21+900, estas canteras cumplen los requisitos mínimos para usarse como material para mejoramiento a nivel de Subrasante, los resultados de estas canteras se muestran a continuación:

Tabla 65: *Ensayos de laboratorio para Canteras de Subrasante.*

Resumen de Resultados		Cantera 1	Cantera 2	Cantera 3	Cantera 4	Cantera 5	Cantera 6	Cantera Napacocha
Humedad Natural	Humedad Natural =	4.6 %	4.9 %	5.6 %	4.6 %	4.1 %	4.6%	5.4 %
	L.L.=	20.52 %	23.36 %	20.55 %	23.54 %	20.81 %	25.46%	NP
Límites de Consistencia	L.P. =	17.03 %	17.95 %	16.83 %	17.60 %	17.02 %	17.98%	NP
	I.P. =	3.49 %	5.40 %	3.72 %	5.94 %	3.79 %	7.48%	NP
Clasificación	SUCS:	GP-GM	GC-GM	GM	GC-GM	GW-GM	GC	GW-GM
	AASHTO:	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-2-4 (0)	A-1-a (0)
Compactación	M.D.S. =	2.099 g/cm ³	2.148 g/cm ³	2.175 g/cm ³	2.134 g/cm ³	2.149 g/cm ³	2.215 g/cm ³	2.039 g/cm ³
	O.C.H. =	4.20 %	5.20 %	4.80 %	4.80 %	2.90 %	6.10%	3.10%
CBR	al 95 % de M.D.S. =	17.2 %	20.5 %	16.9 %	7.3 %	10.7 %	18.3%	15.1%
	al 100% de M.D.S. =	29.4 %	32.8 %	28.9 %	10.5 %	17.2 %	25.9%	26.3%
Abrasión	Desgaste =	21.01 %	20.26 %	23.04 %	23.30 %	20.26 %	21.01%	19.66%

Fuente: Elaboración Propia

De las canteras anteriormente mencionadas, ninguna cumple los estándares mínimos para el diseño de Subbase y Base por lo que se optó por la Dosificación de Material entre las Canteras 1,2 y la Cantera de Napacocha, los resultados se muestran a continuación:

Tabla N° 120: Ensayos de laboratorio de Dosificación para Subbase

Tabla 66: *Ensayos de laboratorio de Dosificación para Subbase.*

Resumen de Resultados		Cantera 1 - Napacocha	Cantera 2 - Napacocha
Humedad Natural	Humedad Natural =	5.4 %	5.7 %



Límites de Consistencia	L.L.=	20.38 %	20.24 %
	L.P. =	16.66 %	16.68 %
	I.P. =	3.72 %	3.56 %
Clasificación	SUCS =	GW- GM	GW – GM
	AASHTO=	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Compactación	M.D.S. =	2.159 g/cm ³	2.173 g/cm ³
	O.C.H. =	4.40 %	4.30 %
CBR	al 95 % de M.D.S. =	44.1 %	46.0 %
	al 100% de M.D.S. =	41.2 %	54.8 %
Abrasión	Desgaste =	21.01 %	17.28 %
Equivalente de Arena	% de Arena =	39%	40%

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al diseño de Base de igual manera se realizó la dosificación correspondiente de manera que cumpla con los estándares mínimos exigidos por la normativa vigente, el material usado para las Dosificaciones y sus resultados respectivos se muestran a continuación:

- ✓ Cantera 02 (40%); Cantera Napacocha (30%); Piedra Chancada Morroblanco – Confitillo (30%).
- ✓ Piedra Chancada Morroblanco (Grava 1”(10%); Grava de ¾”(20%); Grava de ½”(30%); Confitillo(30%)); Agregado Fino Lamay (10%).



Tabla 67: *Ensayos de laboratorio de Dosificación para Base.*

Resumen de Resultados		Cantera 2 – Napacocha	Cantera Morro Blanco - Lamay
Humedad Natural	Humedad Natural =	5.8 %	5.7 %
Límites de Consistencia	L.L.=	NP	NP
	L.P. =	NP	NP
	I.P. =	NP	NP
Clasificación	SUCS:	GP- GM	GP
	AASHTO:	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Compactación	M.D.S. =	2.157 g/cm ³	2.185 g/cm ³
	O.C.H. =	4.50 %	4.80 %
CBR	al 95 % de M.D.S. =	57.9 %	59.6 %
	al 100% de M.D.S. =	82.9 %	81.5 %
Abrasión	Desgaste =	20.54 %	20.07 %
Equivalente de Arena	% de Arena =	46.00%	65.00%

Fuente: Elaboración Propia

7.4. Características geotécnicas

Se ha considerado para el desarrollo del presente estudio las canteras características generales:

- ✓ Tipo de carretera : pavimento flexible.
- ✓ Estructura del pavimento : sub rasante – sub base – base- carpeta de rodadura de concreto asfáltico

7.5. Estabilidad de taludes

7.5.1. Aspectos generales

Las construcciones de infraestructura vial, tales como las autopistas, necesitan un examen y un análisis para garantizar la estabilidad física de los taludes en terrenos, rocas



modificadas y suelos combinados (taludes con capa de suelos y base rocosa). Para esta evaluación se ha llevado a cabo la delimitación de las áreas críticas con la correspondiente clasificación del material basado en su litología. Esto incluye los taludes que actualmente están en funcionamiento y representan un peligro para la carretera.

Para el examen de la estabilidad de los taludes presentes en la carretera, se utilizó el software SLIDE V. 6.005.

Para los cálculos con el software SLIDE se emplearon los siguientes métodos:

- Método simplificado de Bishop: Supone que todas las fuerzas laterales de corte entre bloques son nulas.

- Método de Janbu: Presupone que las fuerzas entre bloques son nulas, sin embargo, cuenta con un factor de corrección $f_s=0$. Es aplicable a cualquier tipo de línea.

El tratamiento de los taludes es un aspecto crucial y deben ser evaluados considerando la mejor solución para la masa deslizante con el menor recurso necesario, minimizando o reduciendo las afectaciones sobre la plataforma.

7.5.2. *Falla por movimiento del cuerpo del talud*

Son desplazamientos repentinos que impactan grandes volúmenes de suelo; estos fenómenos se conocen comúnmente como deslizamientos de tierras. Dentro de estos, se distinguen dos tipos: en primer lugar, un caso en el que se define una superficie de ruptura curva a lo largo de la cual se produce el movimiento del talud, conocidas como fallas por rotación. En segundo lugar, están las fallas que ocurren a lo largo de superficies débiles, las cuales suelen ser horizontales o ligeramente inclinadas respecto a la horizontal. Estas son las fallas por traslación.

En el examen de los taludes presentes en la carretera, se ha identificado que el material predominante que está deslizándose son materiales de cobertura cuaternaria, tales como depósitos fluvioglaciares, depósitos morénicos y depósitos coluviales de laderas montañosas, situados sobre formaciones del grupo Cabanillas, formadas por depósitos sedimentarios de areniscas y lutitas intercaladas con micas y pizarras. También se encuentran el grupo Mitú, con areniscas rojas finas y depósitos de coladas de lava volcánica, y la formación San José, constituida por pizarras de tonalidades grises que van de oscuras a claras, y compuesta por lutitas, areniscas y pizarras grises con alta alteración,

Estos terrenos de cobertura están compuestos por materiales que incluyen gravas de pizarras y bloques de areniscas, lutitas y algunos bloques de cuarcitas y granodioritas que se desprenden de las partes superiores del intrusivo volcánico. Estos materiales pueden encontrarse en algunos casos como material suelto o como suelo consolidado, siendo suelos de tipo gravoso con una matriz envolvente de arcilla limosa de plasticidad media a alta.

En este tipo de terrenos, los taludes tienden a degradarse o a desplazarse parcialmente, considerándose como cuerpos de masas inestables. Los movimientos de inestabilidad pueden ser provocados por la gravedad y las infiltraciones de aguas de escorrentía en el cuerpo del talud, rompiendo el ángulo de reposo o estabilidad del talud y generando un plano de falla en la superficie del suelo o de la roca.

El tipo de deslizamiento o fractura del talud en la vía son deslizamientos rotacionales y de vuelco, los cuales ocurren de manera gradual en forma de una cuchara a lo largo de la superficie cilíndrica ubicada debajo del cuerpo de masa. Estos se identifican por la presencia de fisuras de tensión en la parte superior o corona, áreas de escarpe, base del talud y cuerpo de masa en movimiento, así como una ruptura en el plano de falla del cuerpo deslizante, entre otros.

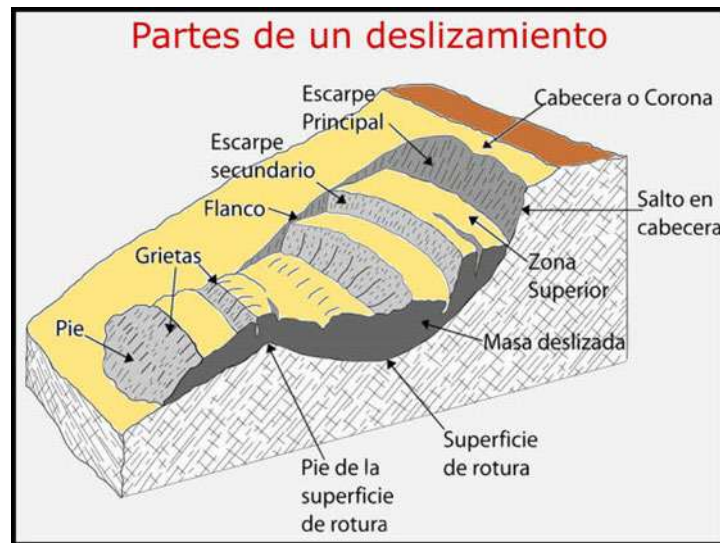


Figura 36: Deslizamiento tipo rotacional la cual se tiene presente en la zona de estudio.

7.5.3. Métodos para mejorar la estabilidad de taludes



En cuanto a las técnicas para estabilizar taludes, existen diversas opciones. Por lo tanto, se llevará a cabo un análisis de los taludes considerados susceptibles a deslizamientos de masa dentro de la vía, y se deberán aplicar estas técnicas:

7.5.3.1. Método de la modificación de la topografía

Al realizar el examen de estabilidad, frecuentemente el talud resulta inestable, por lo cual surge la necesidad de ajustar el talud, aplicando el criterio de banquetas. Al reducir la inclinación del talud, el círculo crítico de falla se extiende y profundiza para un talud estable, aumentando así el factor de seguridad. La reducción de la inclinación del talud es económicamente viable en taludes de baja altura, pero no sucede lo mismo en taludes de gran altura. La extracción de materiales en la parte superior del talud contribuye a mejorar la estabilidad.

La edificación de plataformas en la zona superior de un deslizamiento de rotación tiende a reducir el momento en acción y controlar el desplazamiento. Si el procedimiento se realiza en la sección inferior, se puede alcanzar el efecto contrario, disminuyendo el factor de seguridad. Evaluando la estabilidad del talud mediante un cálculo del aumento del factor de seguridad (F.S.), se asegura que dicho talud sea más estable.

7.5.3.2. Elementos estructurales resistentes (obras civiles)

Cada componente estructural tiene como finalidad aumentar la resistencia al esfuerzo cortante del material. Como elementos estructurales se pueden emplear:

- Componentes que aumentan la resistencia al esfuerzo cortante del terreno, como pilotes o micropilotes.
- Componentes que incrementan las fuerzas tangenciales de fricción en la superficie de ruptura, como anclajes y muros anclados.
- Los muros de soporte o muros de contención tienen el propósito de reforzar la zona de la base del talud del cuerpo deslizante, generando estabilidad y contrarrestando el empuje de masas.

7.5.3.3. Empleo de vegetación:

Es una técnica de prevención y corrección para defectos por erosión. La respuesta cumple dos roles esenciales: primero, reduce la cantidad de agua en la capa superficial y, en segundo lugar, otorga firmeza a esa capa mediante la red mecánica de las raíces. La experiencia ha demostrado que es más eficaz para proteger los taludes la siembra continua



de gramíneas y plantas herbáceas, en lugar de la siembra de arbustos o zonas aisladas. El impacto de las gramíneas es fundamental para evitar la formación de fisuras por contracción en los suelos que quedarían desprotegidos sin dicha cobertura.

7.5.3.4. Precauciones de drenaje:

La causa principal y más común de problemas relacionados con la estabilidad de taludes en proyectos de ingeniería es, sin lugar a dudas, la presencia de agua y su desplazamiento dentro de la masa de suelo. La saturación y el desarrollo de las fuerzas de filtración que ocurren durante el flujo de agua influyen de manera decisiva en la estabilidad de las masas de suelo. En este contexto, es crucial diseñar estructuras que aseguren la rápida eliminación de aguas pluviales.

Con la edificación de canalizaciones de coronación y la colocación de sistemas de drenaje horizontales para una más eficiente eliminación de las aguas de escorrentía.

7.5.3.5. Análisis de estabilidad de taludes

Para evaluar la estabilidad de una pendiente o superficie inclinada, ya sea natural o artificial, se emplearán mecanismos y criterios de resistencia de los materiales o componentes del talud implicados. La inclinación de las pendientes debe ser adecuada para asegurar la estabilidad sin desprendimientos que puedan representar un riesgo para el tránsito normal en la carretera.

El estudio de la estabilidad de la pendiente se llevará a cabo utilizando el software SLIDE, mediante el método de BISHOP y el MÉTODO JAMBU. Este software calculará el FS ideal para la modificación de la pendiente, considerando que el F.S. no debe ser inferior a 1.50, en el caso de una pendiente inestable o en riesgo de falla o deslizamiento.

Para dicho análisis, se deberá tener en cuenta si la pendiente presenta agua, su ángulo de cohesión (c') del material, el ángulo de fricción (ϕ') del material, y su peso específico (γ), que define el peso de la masa en relación con el volumen. También se considerará el ángulo de inclinación de la pendiente, información obtenida del modelado del levantamiento topográfico de las curvas de nivel en Civil 3D. Estos datos serán ingresados y evaluados a través del software.

7.5.4. Memoria de cálculo propuesto por dos métodos Bishop y metodo Jambu.

Este procedimiento es el más reconocido y utilizado para la evaluación de la estabilidad de una superficie de falla circular, tanto para suelos cohesivos como para suelos de fricción.

El análisis de equilibrio se presenta en términos relativos al centro del círculo, y el equilibrio de fuerzas se examina en dirección vertical, con todas las fuerzas cortantes entre las secciones siendo nulas.

Dado que se trata de un método de secciones, la masa de suelo en movimiento debe dividirse en η tiras verticales para analizar las fuerzas y momentos involucrados en cada una de las secciones definidas, lo que permite determinar el Factor de Seguridad (FS) asociado al caso.

La seguridad de un talud se mide mediante el Factor de Seguridad (FS), el cual se define como la relación entre la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento y la fuerza necesaria para mantener el equilibrio absoluto, suponiendo que esta resistencia sea constante en toda la superficie de deslizamiento.

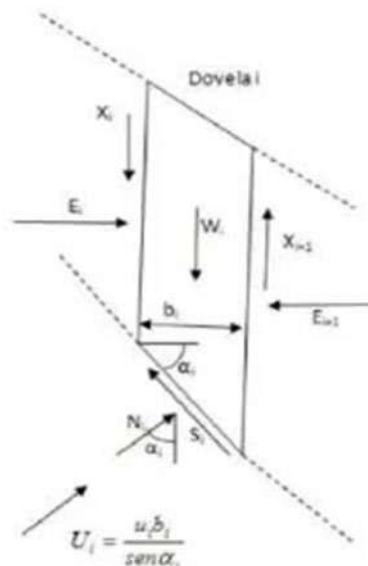


Figura 37: Fuerzas actuantes en una dovela.

Establecido el equilibrio de momentos de toda la masa deslizante respecto al centro del círculo de deslizamiento se obtiene:



$$F.S = \frac{1}{\sum_{i=1}^N W_i \sin \alpha_i} * c_i \frac{b_i}{\sin \alpha_i} + N_i \tan \phi_i$$

De las ecuaciones de equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela se puede despejar los N_i y sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene:

$$F.S = \frac{1}{\sum_{i=1}^N W_i \sin \alpha_i} \left\{ \sum_{i=1}^N [C_i b_i + (W_i - u_i b_i + X_i - x_{n+1}) \tan \phi_i] \frac{\sec \alpha_i}{1 + \frac{\tan \phi_i \tan \alpha_i}{F.S}} \right\}$$

en el método simplificado de bishop se supone que se cumple:

$$\sum_{i=1}^N \frac{1(X_i - x_{n+1}) \tan \phi \sec \alpha_i}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_i}{F.S}} = 0$$

Con esta simplificación la ecuación queda expresada en:

$$F.S = \frac{\sum_{i=1}^n [C'_i b_i + \tan \phi_i (W_i - u_i b_i)] + \frac{\sum_{i=1}^n \sec \alpha_i \tan \phi_i \tan \alpha_i}{F.S}}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

7.5.4.1. Análisis de Estabilidad de Taludes deslizamiento de talud Km 00+320 a Km 00+345

El análisis de taludes corresponde a al talud de deslizamiento activo estable en temporada de estiaje, correspondiendo a un depósito de cobertura colu-aluvial - morenicos de ladera de talud, compuestas por gravas limo arcillosas, con presencia de clastos de rocas de diferentes tamaños de provenientes de las partes más alta, de los picos que antiguamente fueron parte de la cadena montañosa de los nevados esto debido al gran intemperismo de las rocas pizarras, depositadas gradualmente en la ladera.



Fotografía 19: Cuerpo de deslizamiento talud inferior Km 00+320 Km 00+345.

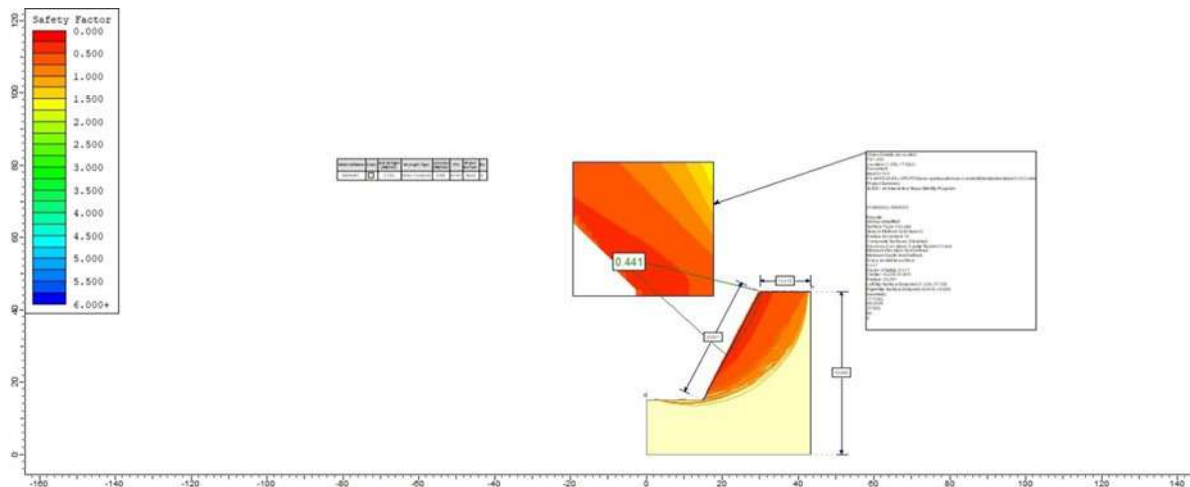


Figura 38: Talud inicial Km 00+320 a Km 00+345. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS.=0,441$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, considerando que este talud se encuentra en el talud inferior y considerando que la zona tiene una pendiente considerable y viendo la que es una pequeña quebrada se ha de plantear el mejor tratamiento que será la construcción de un muro de sostenimiento en su base el cual será MURO SECO, compuesto por un superposición de piedras boloneria mayor a 1m de diámetro.

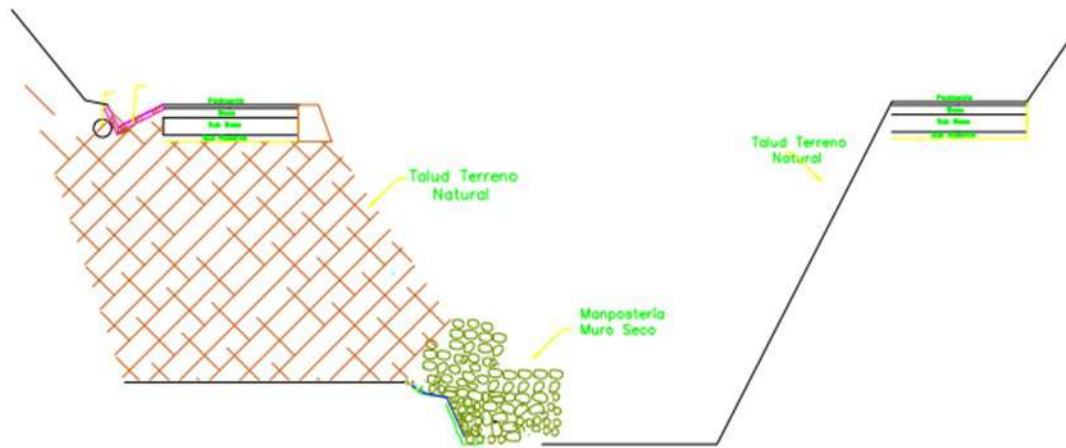


Figura 39: *Detalle de construcción de muro seco en la progresiva Km 00+320 Km 00+345 (Fuente: Elaboración Propia)*

Del análisis realizado se ha optado realizar la construcción de muro seco, se ha considerado la mejor opción para estabilizar este talud, debido a que al realizar algún tipo de estabilidad por método de banqueteo se desestabilizara dicho talud.

7.5.4.2. Análisis de Estabilidad de Taludes deslizamiento Activo estable apreciándose grietas tensionales de coronación Km 00+465 a Km 00+565.

Este deslizamiento corresponde a un depósito inicialmente morrénico y posteriormente a coluvial, con material poco consolidado con presencia de clastos sub angulosos con matriz limo arcillosa.



Fotografía 20: Vista del deslizamiento, apreciándose canales surcos, y grietas tensionales Km 00+465 a Km 00+565.

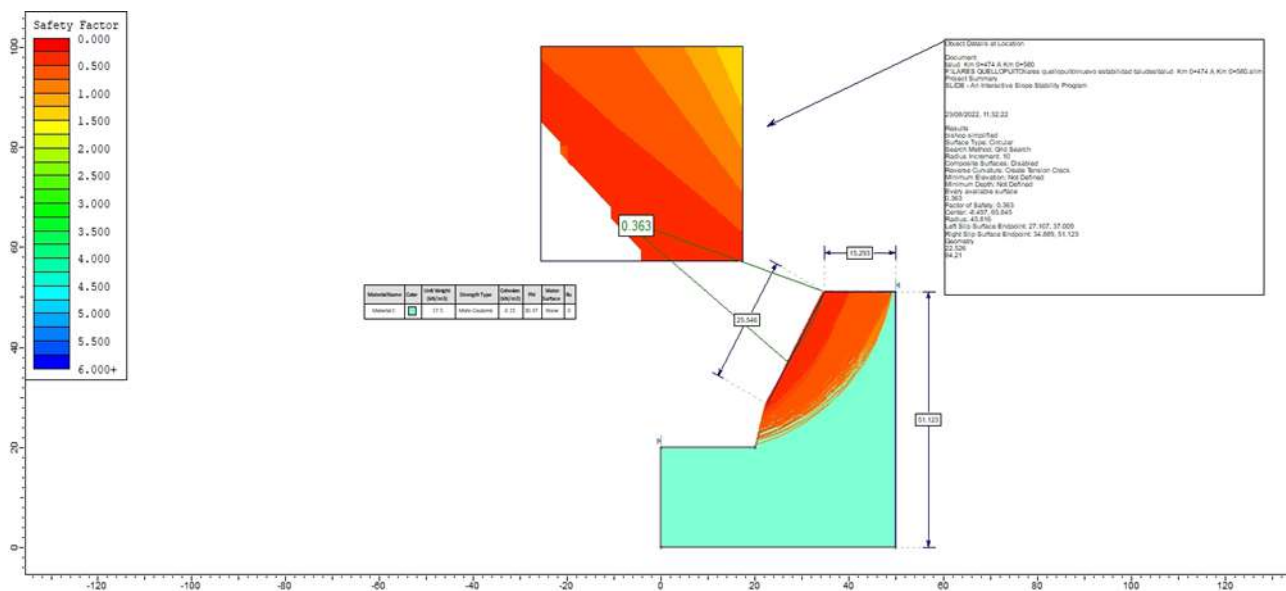


Figura 40: Talud inicial Km 0+465 a Km 0+565. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.363$, El cual se considera el valor más bajo de todo el talud, siendo esta área del talud inestable y propensa a ruptura por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7 m, 14 y el resto presentarlo al talud, talud de corte 2:1. (V:H).

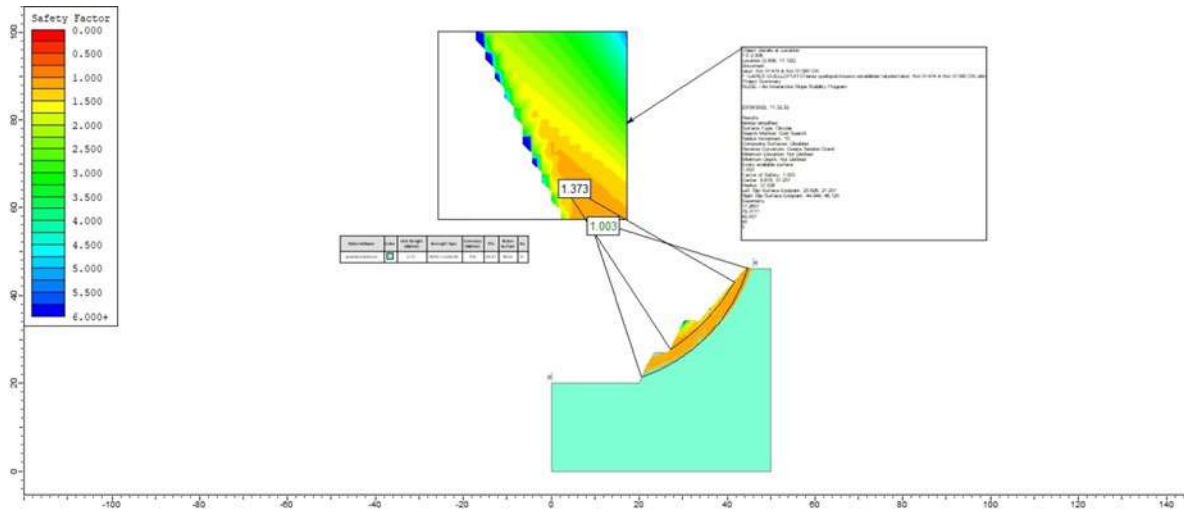


Figura 41: Talud Estabilizado Km 00+465 a Km 00+565. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado los 2 primeros a 7,14 m, los siguientes se presentará al talud existente, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1373, siendo este el análisis de la facción central del talud disminuyendo el riesgo a deslizamiento del talud en su estado natural existente.

7.5.4.3. Análisis de Estabilidad de Taludes deslizamiento de talud Km 19+875 a Km 19+995.

El análisis de taludes corresponde a al talud de deslizamiento antiguo, pero en actividad tipo de deslizamiento apreciándose grietas tensionales y como cuerpo zonas de escarpes primario y secundario típicas de un deslizamiento rotacional, se encuentra a pie de carretera. Hombro izquierdo, compuesta por un material coluvial con matriz limosa con alguna poca cantidad de arcilla tipo reptación el cual se puede apreciar grietas de tensionales de coronación, zonas de escarpe primario, y secundario típicos de deslizamientos rotacionales.



Fotografía 21: Deslizamiento de talud antiguo activo presentando pequeños desmoronamientos.

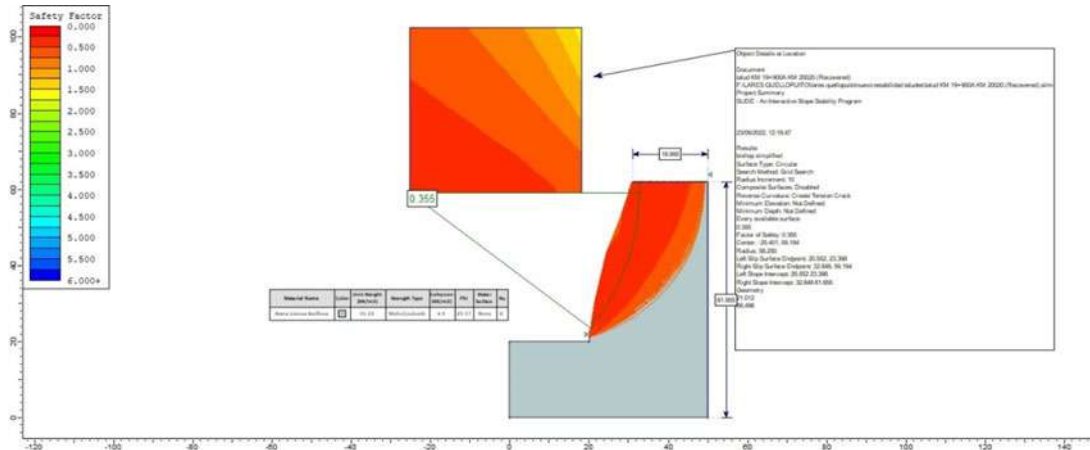


Figura 42: Talud Inicial Km 19+875 a Km 19+995. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.355$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 5, m, talud de corte 3:1. (V:H).

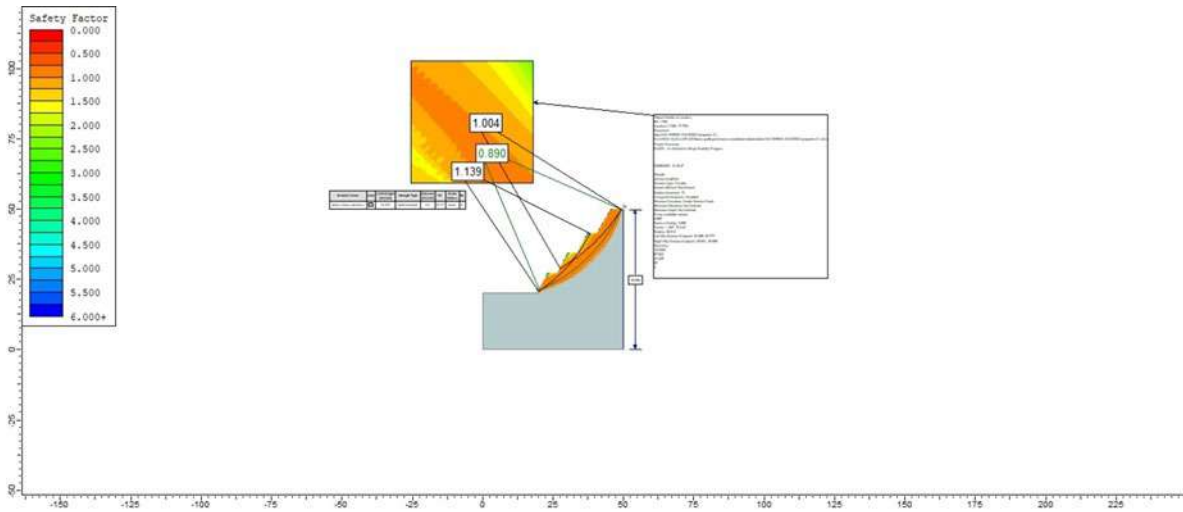


Figura 43: Talud Estabilizado Km 19+875 a Km 19+995. Fuente: Elaboración Propia.

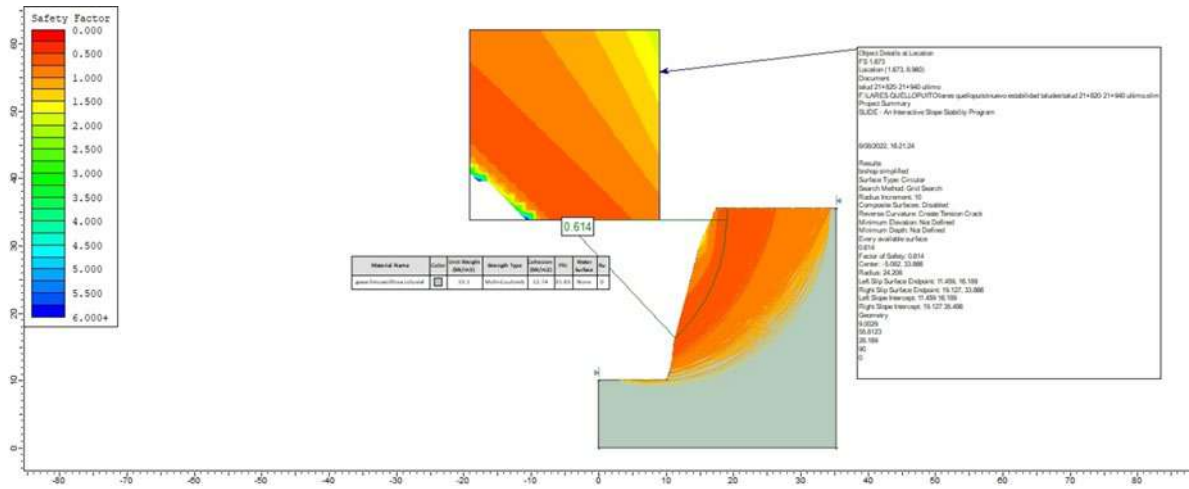
Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14, 21, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de $FS = 1,139$, en la parte inferior del cuerpo de talud y la superior $FS = 1004$, considerando un talud estable para los trabajos a realizar, con la adición de muro de sostenimiento garantía la estabilidad del talud.

7.5.4.4. Análisis de Estabilidad de Taludes deslizamiento de talud KM 21+820 A KM 21+940.

El análisis de taludes corresponde a al talud de deslizamiento activo tipo de deslizamiento rotacional este deslizamiento es considerado como cantera la cual debe de ser explotada en las mejores condiciones técnicas, compuesta por material gravosos coluvial de tipo de depósito. Dispuesto en la ladera hombro izquierdo de la vía, por la parte superior se identificó una vía de comunicación trocha carrozable la cual para garantizar su sostenibilidad se dará el análisis de estabilidad.



Fotografía 22: Cuerpo de deslizamiento en actividad por sobresaturacion y uso desmedido de material de préstamo cantera.



Fotografía 23: Talud Inicial Km 21+820 a Km 21+940. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS.=0,614$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7,14,21 m, talud de corte 2:1. (V:H).

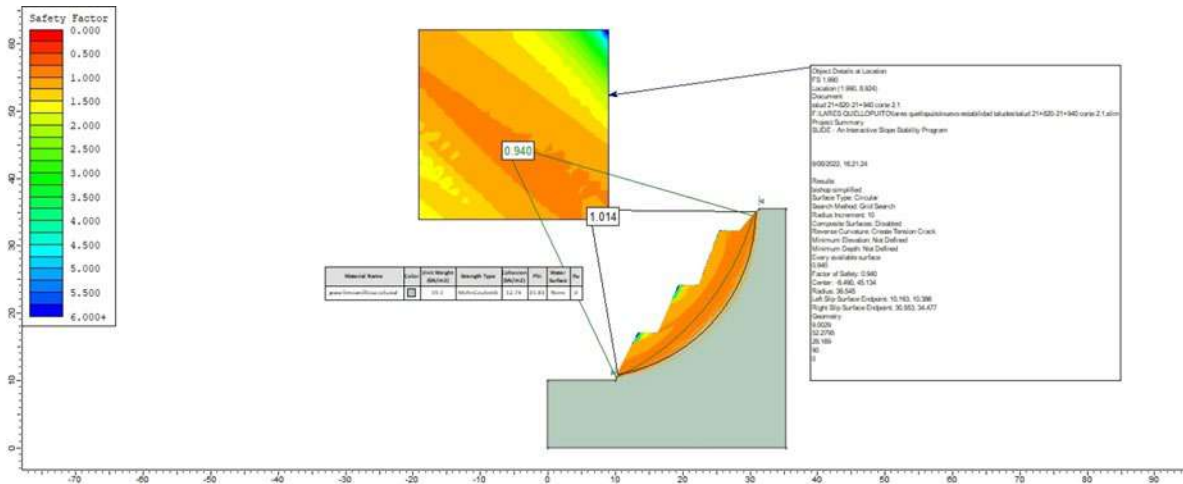


Figura 44: Talud Estabilizado Km 21+820 a Km 21+940. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14, 21 m, y el siguiente se presenta al talud natural, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1,014, siendo este el análisis total del talud, considerando un talud estable para los trabajos a realizar más la adición de un muro de sostenimiento gaviones.

7.5.4.5. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos Km 27+240 a Km 27+270

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras.



Fotografía 24: Desprendimiento de clastos de rocas provenientes de la parte superior del afloramiento rocoso.

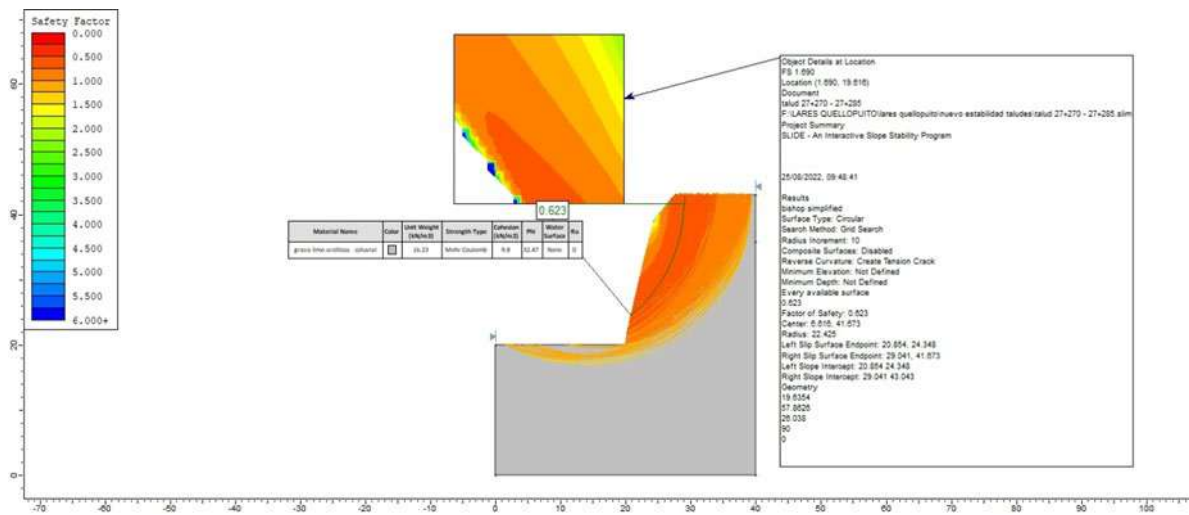


Figura 45: Talud Inicial Km 27+240 a Km 27+270. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0,623$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7m, 10 m talud de corte 3:1. (V:H).

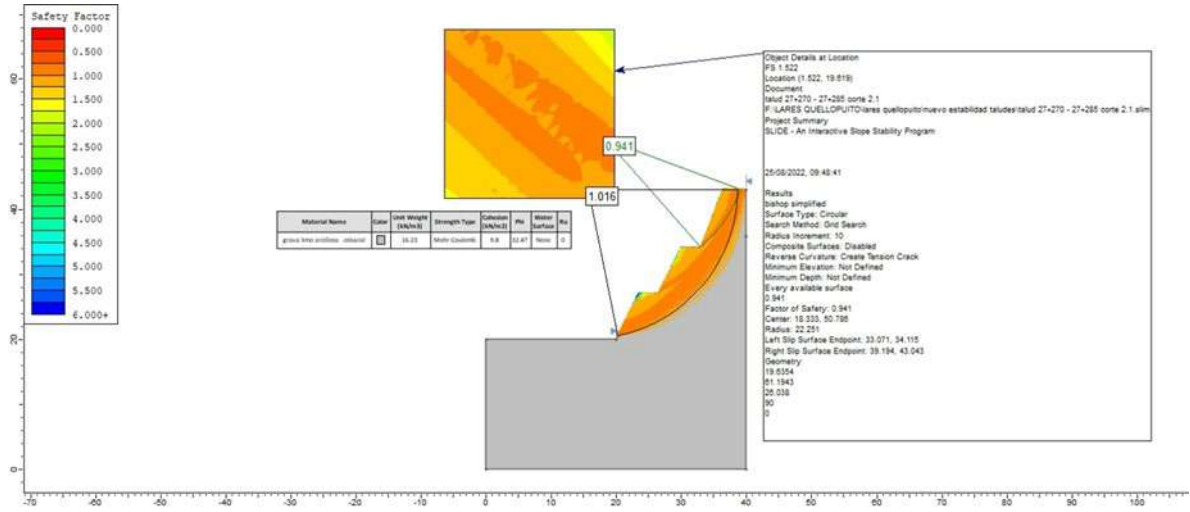


Figura 46: Talud Estabilizado Km 27+240 a Km 27+270. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14 m, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1.016, siendo este el análisis total del talud, considerando un talud estable para los trabajos a realizar, más la adición del muro de sostenimiento, de gaviones se dará una mayor resistencia al empuje del talud.

7.5.4.6. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos 27+440 A Km 27+500

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras



Fotografía 25: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.

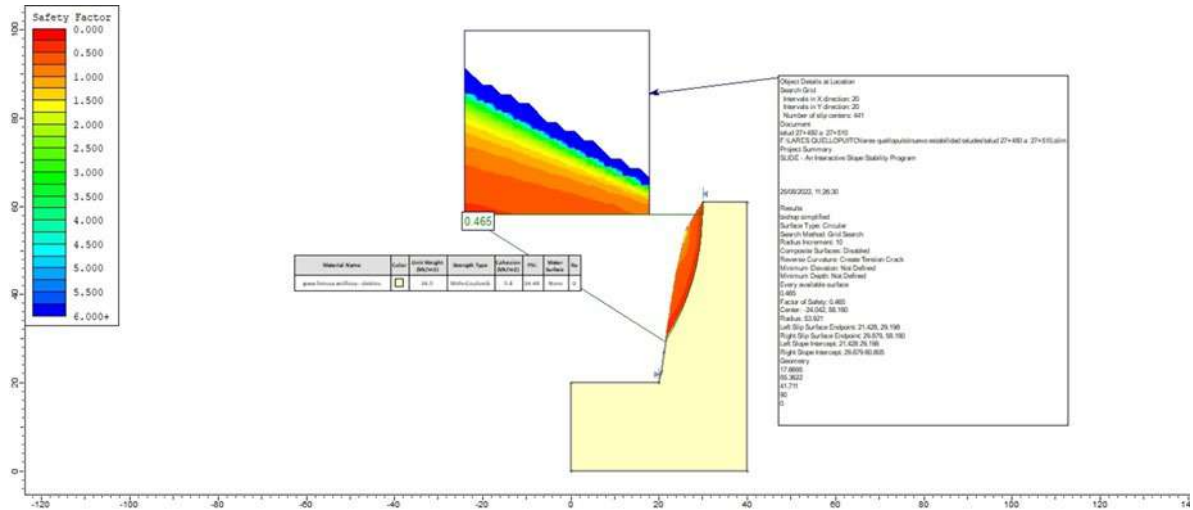


Figura 47: Talud Inicial Km 27+440 a Km 27+500. Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis del talud se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.465$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7, 14, 21 m, talud de corte 2:1. (V:H).

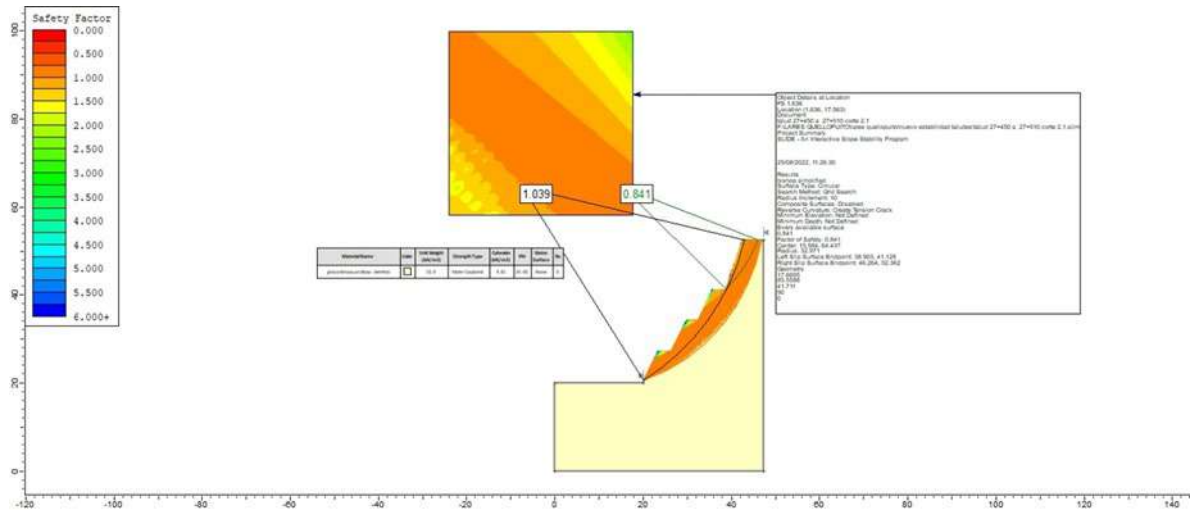


Figura 48: Talud Estabilizado 27+440 A Km 27+500. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7,14,21 m, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1.039, siendo este el análisis total del talud, considerando que este talud analizado un talud estable para los trabajos a realizar, más la adición de muro de sostenimiento gaviones.

7.5.4.7. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos Km 27+820 A Km 27+920

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras



Fotografía 26: Desprendimiento de detritos sobre talud superior de vía.

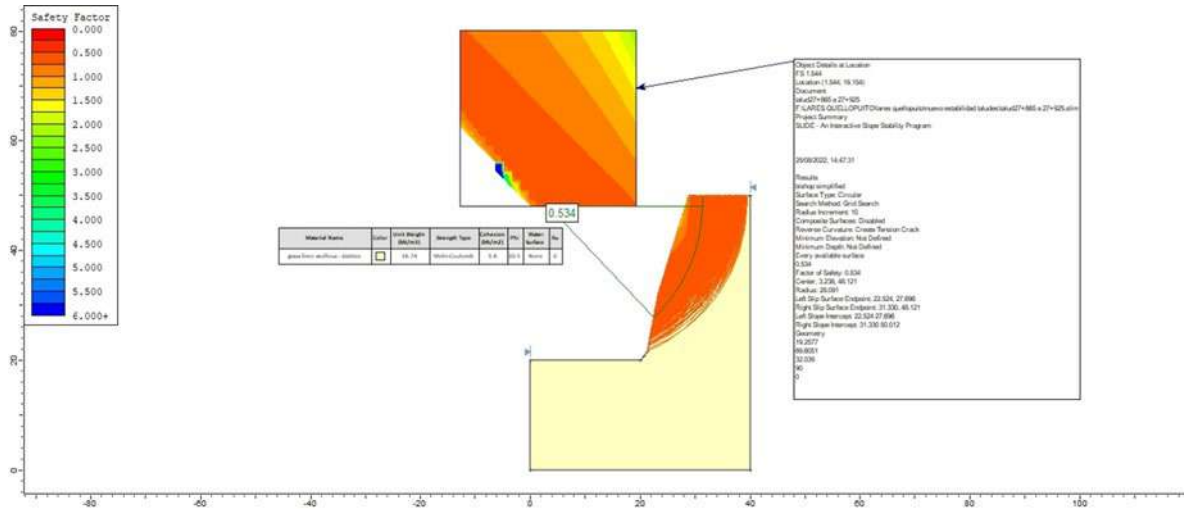


Figura 49: Talud inicial Km 27+820 a Km 27+920. Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis del talud se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.534$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7 m, talud de corte 2:1. (V:H)

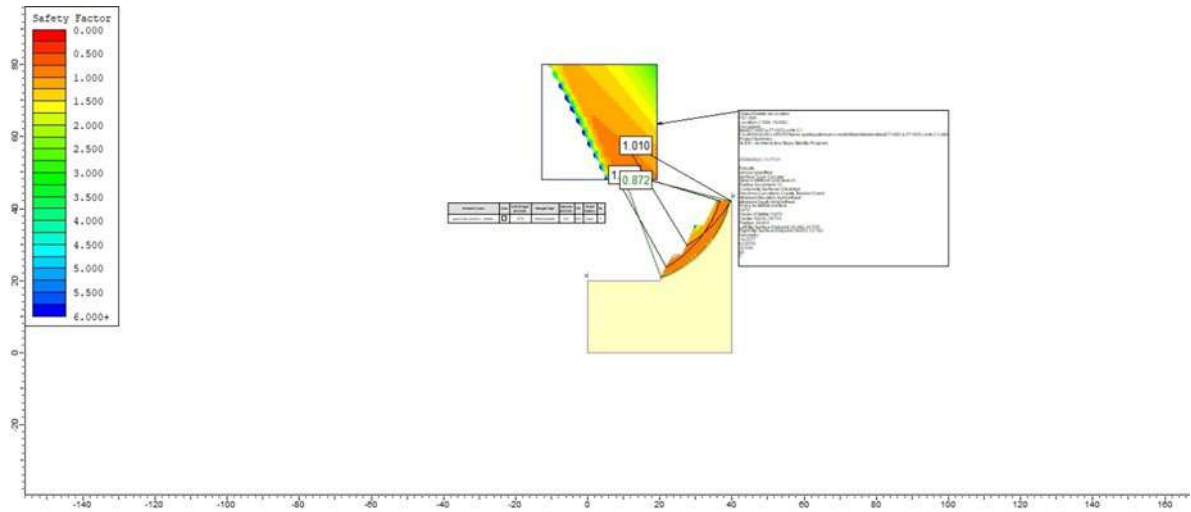


Figura 50: Talud Estabilizado Km 27+820 a Km 27+920. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7,14 m, y el resto se presenta al talud existente con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1.067 en cuerpo talud total y talud superior FS = 1.010, considerando que este talud analizado un talud estable para los trabajos a realizar, adicionado a ello la construcción de gaviones dando una estabilidad al talud.

7.5.4.8. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos Km 28+540 A Km 28+680

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras



Fotografía 27: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía

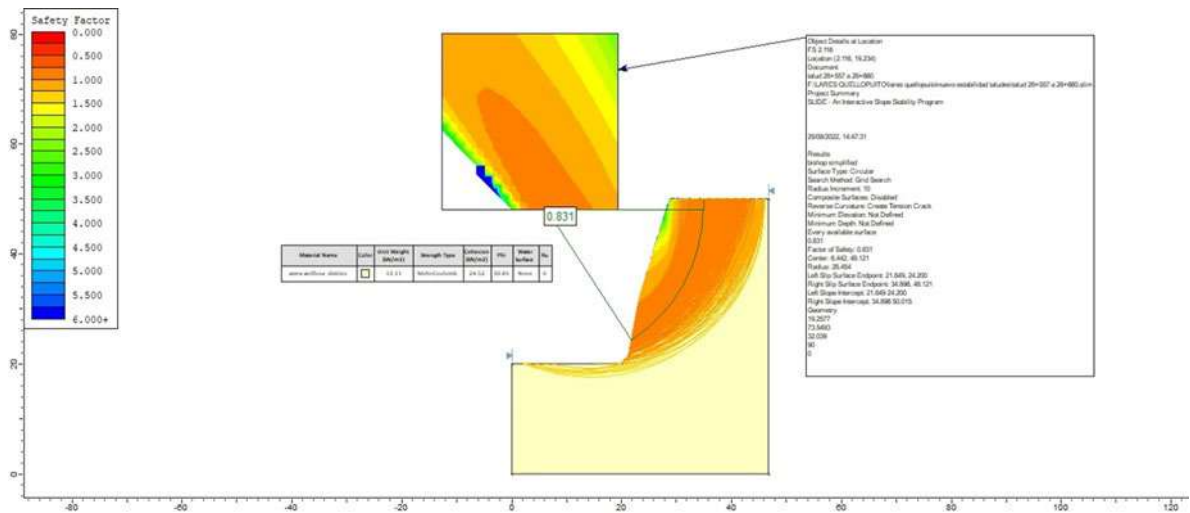


Figura 51: Talud Inicial Km 28+540 a Km 28+680. Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis del talud se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.831$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7 m, talud de corte 3:1. (V:H).

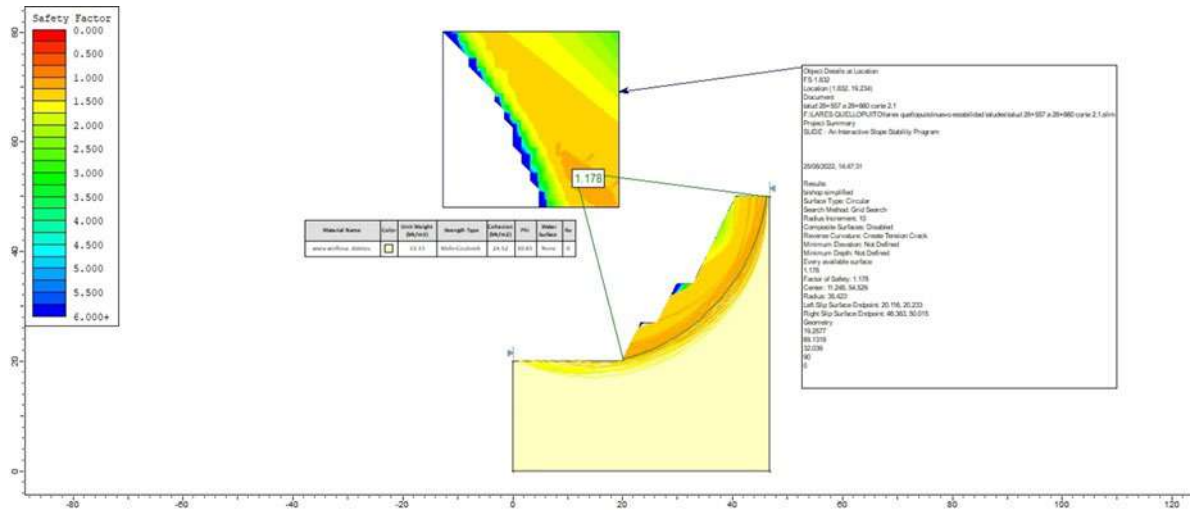


Figura 52: Talud Inicial Km 28+540 a Km 28+680.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14 m, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de $FS= 1,178$, siendo este el análisis total del talud, considerando que este talud analizado un talud estable para los trabajos a realizar y la instalación de muro de contención gaviones.

7.5.4.9. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos Km 28+880 a Km 29+020

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras



Fotografía 28: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.

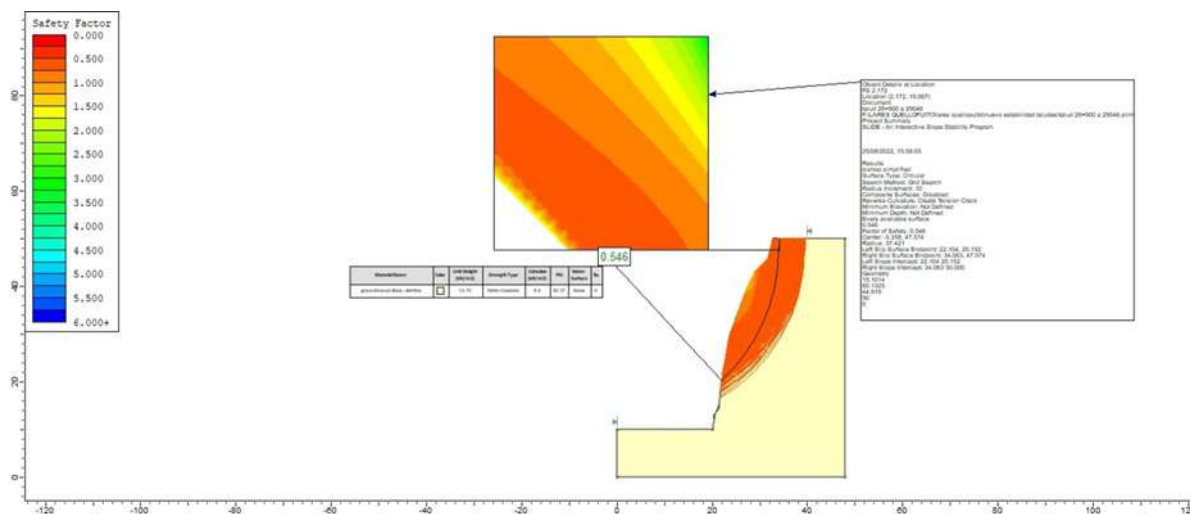


Figura 53: Talud Inicial Km 28+880 a Km 29+020. Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis del talud se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.546$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7,14 m, talud de corte 2:1. (V:H).

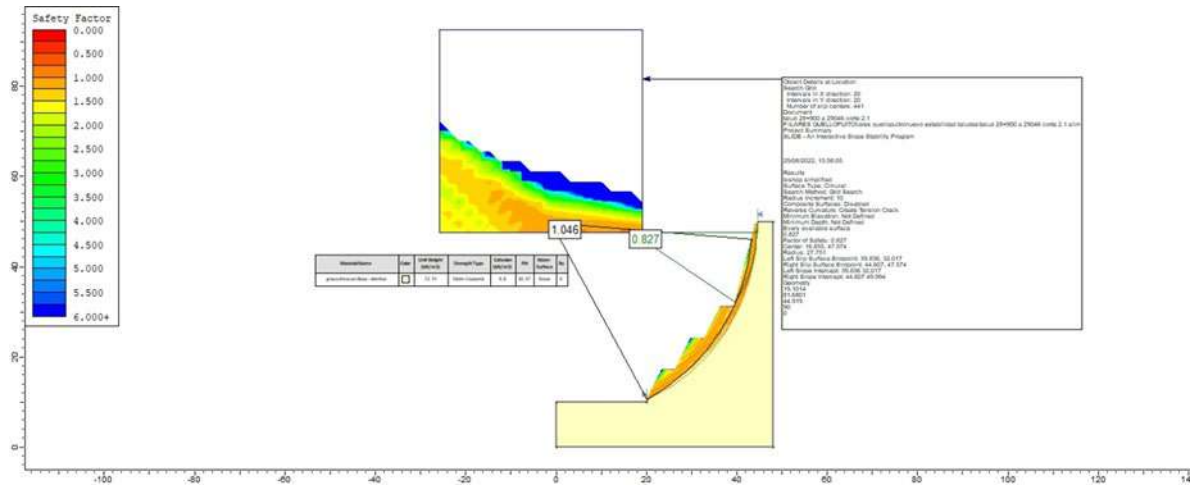


Figura 54: Talud Estabilizado Km 28+880 a Km 29+020. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7,14 m, y el resto se presenta al talud natural con terrazas de 3 m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1,046, siendo este el análisis total del talud, considerando que este talud analizado un talud estable para los trabajos a realizar, más la construcción de muros de contención gaviones.

7.5.4.10. Análisis de Estabilidad de Taludes deslizamiento de talud - Km 29+260 A Km 29+440

El análisis de taludes corresponde a al talud de deslizamiento activo tipo mixto de reptación y vuelco, el cual se puede apreciar planos de ruptura generando grietas tensionales en la corona y bloques desprendidos de la parte superior del talud. correspondiendo a un depósito de cobertura colu-aluvial de ladera de talud, compuestas por gravas limo arcillosas.



Fotografía 29: Deslizamiento activo con la demarcación de las grietas de coronación y desprendimiento de bloques de material.

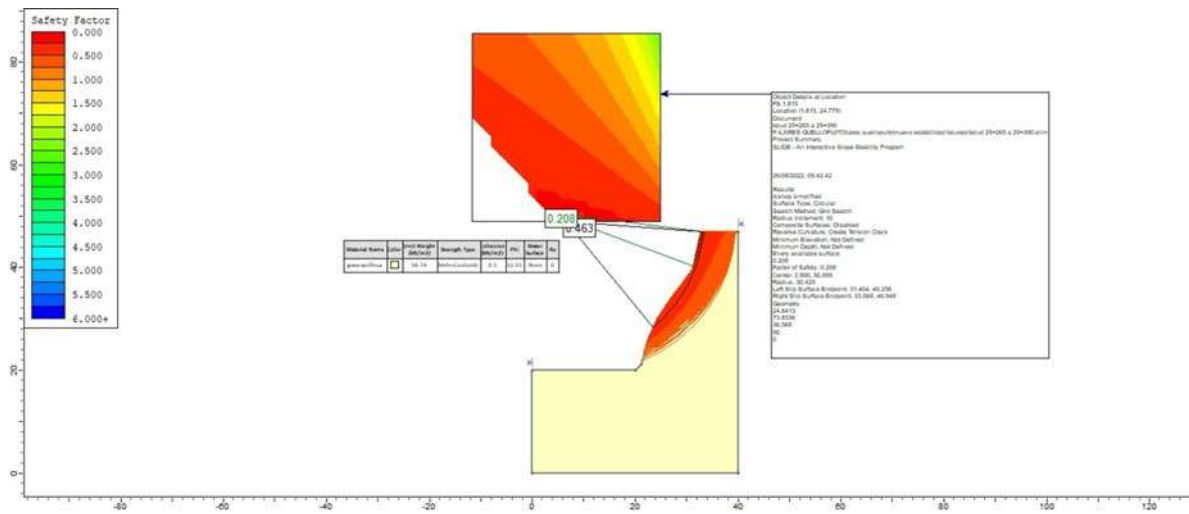


Figura 55: Talud Inicial Km 29+260 a Km 29+440. Fuente: Elaboración Propia.

De lo analizado se puede determinar que el factor de seguridad es $FS.=0,463$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7, 14 m, talud de corte 2:1. (V:H).

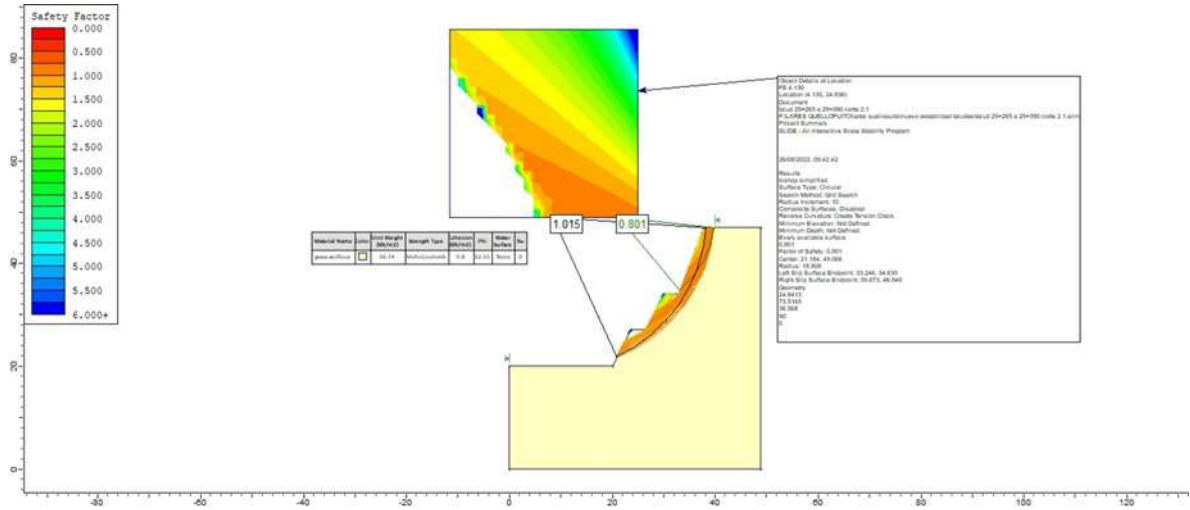


Figura 56: Talud Estabilizado Km 29+260 a Km 29+440. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14 m, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de FS= 1,015, 31

7.5.4.11. Análisis de Estabilidad de Taludes detritos Km 31+090 a Km 31+160

El análisis de taludes corresponde a al desprendimiento de bloques de detritos provenientes de las partes altas de las montañas (afloramiento rocoso), compuesto por diferentes materiales como son clastos de roca volcánica, intercaladas con bloques de pizarras.



Fotografía 30: Desprendimiento de clastos de rocas (detritos) dispuestos sobre el talud superior de la vía.

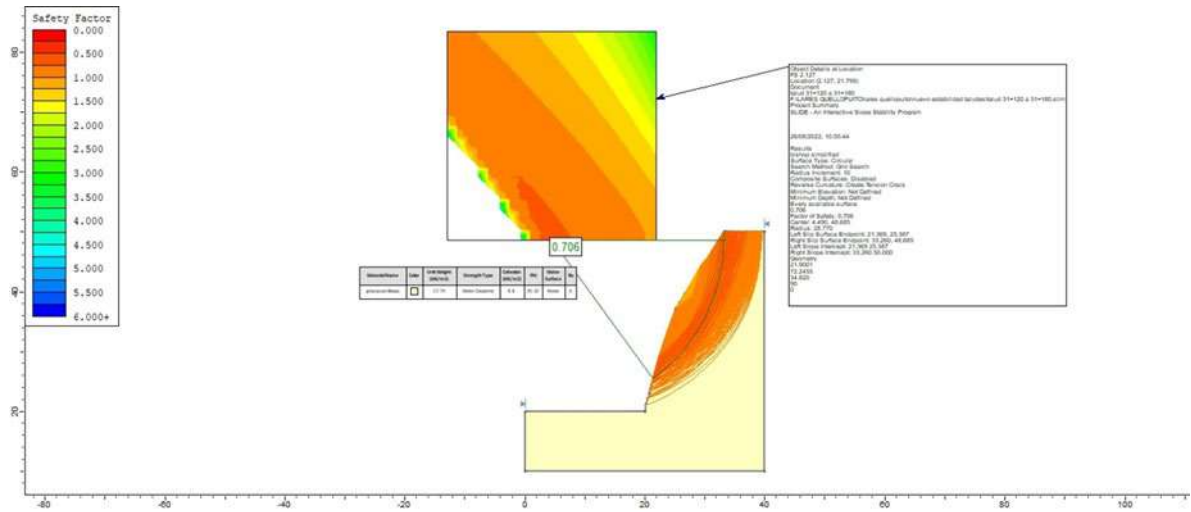


Figura 57: Talud Inicial Km 31+090 a Km 31+160. Fuente: Elaboración Propia.

Del análisis del talud se puede determinar que el factor de seguridad es $FS=0.706$, El cual se considera muy bajo por lo que se deberá realizar un sistema de tratamiento de estabilidad de taludes, por el método de modificación de la geometría del talud mediante banquetas a 7,14 m, talud de corte 2:1. (V:H).

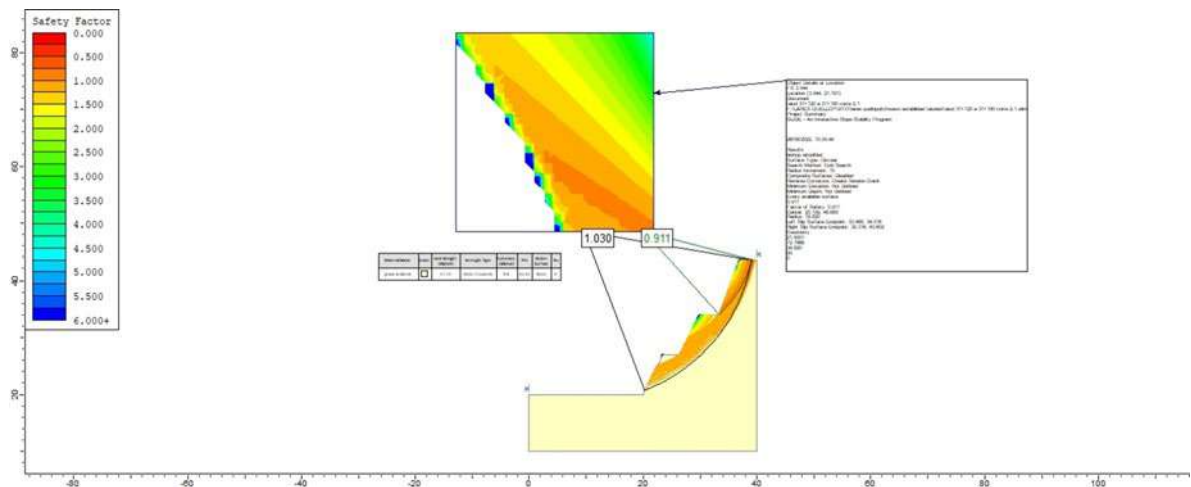


Figura 58: Talud Estabilizado Km 31+090 a Km 31+160. Fuente: Elaboración Propia.

Del banqueteo planteado se dará primero a 7, 14 m, con terrazas de 3m, logrando estabilizar el talud a un factor de seguridad de $FS= 1.030$, siendo este el análisis total del talud, considerando que este talud analizado un talud estable para los trabajos a realizar. Mas la adición de un muro de sostenimiento gaviones.



7.5.5. Recomendaciones para la estabilidad de taludes en corte

- Del análisis de los taludes pseudoestático en mención se realizó de acuerdo a la norma vigente de acuerdo al manual de suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Con la consideración del tipo de material concordante al cuadro 4.12 corte de taludes se consideró por la similaridad del talud y en su composición un corte (2V:1H). siendo este la mejor solución al tratamiento de taludes, demostrado mediante software taludes estables mediante el método de modificación de la geometría del talud dando sostenibilidad reduciendo los ángulos de los taludes y la carga sobre el talud.
- Identificar, encausar y derivar a la cuneta más cerca las aguas de infiltración que afloran en el talud de deslizamiento debido a que estas reducen su estabilidad siendo propensas a ser susceptibles a volcaduras o deslizamientos.
- en estos taludes donde se ha modificado la geometría de taludes deberán ser monitoreados y tratados con un sistema combinado de estabilidad donde se deberá reforestar con especies herbáceas de la zona.
- En zonas críticas se deberá considerar la disposición de la construcción de muros secos a pie de talud para aumentar el soporte a los esfuerzos de empuje garantizando una sostenibilidad sobre el talud.
- En las zonas determinadas como taludes compuestos por material coluvial se deberá implementar muros de sostenimiento de gaviones para aumentar el soporte a los esfuerzos de empuje del material.
- De deberá considerar la construcción de zanjas de coronación, para recolección y evacuación de las aguas de escorrentía.

7.5.6. Factores preventivos y correctivos para evitar falla en el talud.

- La vegetación evitará la mayor parte de daños originados por el esfuerzo climático y mantendrá al suelo al que pertenece fuera de la cuneta y obras de drenaje; así mismo cumple la función de disminuir el contenido de agua en la parte superficial y dar consistencia al talud.
- El redondear la parte superior de los cortes no solo aumenta la apariencia, sino que también se emplea de manera práctica; de esta forma dejar caer el suelo orgánico y dejar arraigar la vegetación en suelo firme.



- El redondeo crea una superficie suave uniforme en la parte superior de los cortes que facilita la conservación del talud.
- Las fallas en los taludes de los suelos son más frecuentes en periodos de lluvias intensas por lo tanto se debe construir estructuras comunes, tales como cunetas, alcantarillas.
- La disposición de muros secos en partes críticas en los pies de talud garantizar la sostenibilidad del talud como un conjunto de alternativas para el buen funcionamiento del mismo.
- La disposición de muros de sostenimiento gaviones para taludes de composición coluvial los cuales garantizarán la sostenibilidad del talud.

7.6. Mecánica de rocas

Según Hoek & Brown (1980), afirman que: “La investigación en Mecánica de Rocas empezó en 1952 en Sud África. La SACSIR, estableció un equipo para investigar problemas relativos a las presiones de las rocas en las minas de oro a gran profundidad.” Los problemas de estabilidad asociados con la edificación de excavaciones en formaciones rocosas han llevado al surgimiento de una disciplina denominada Mecánica de Rocas. Además, al examinar las presiones ejercidas sobre el macizo rocoso “El estudio de respuesta de la roca a estos cambios requiere la aplicación de técnicas analíticas. La mecánica de rocas forma parte de la geomecánica y estudia la respuesta de todos los materiales geológicos, incluyendo los suelos” (Hoek & Brown, Criterios de Rotura, 1980). Considerando que la mecánica de rocas es un campo especializado dentro de la ingeniería, es evidente que su aplicación práctica eficiente requiere una comprensión filosófica combinada con otras ramas de la geomecánica. La mecánica de rocas, la mecánica de suelos, la hidrología y la geología estructural forman la base de la ingeniería minera. Estas áreas constituyen la fundamentación conceptual y factual de los métodos que se pueden desarrollar para controlar y prever el comportamiento de la roca durante las actividades mineras. (Hoek & Brown, Criterios de Rotura, 1980).

7.6.1. Pendiente

7.6.2. zación del macizo rocoso

El comportamiento del macizo rocoso está estrechamente vinculado con la cantidad de grupos de discontinuidades o sistemas de diaclasas presentes, así como su distribución espacial y orientación; por lo tanto, es fundamental llevar a cabo esta evaluación.



La caracterización litológica y estructural del macizo rocoso se efectuó en los afloramientos del talud y el suelo utilizando líneas de detalle (líneas microtectónicas); este mapeo geológico estructural de las discontinuidades consiste principalmente en la medición minuciosa de la orientación de los planos (juntas, estratificaciones y fallas) que atraviesan el macizo rocoso.

Para la caracterización de los macizos rocosos se realizaron 2 estaciones geomecánicas en 2 puntos estratégicos tomando en cuenta un tipo de roca para cada estación geomecánica.

Asimismo, se examina la alteración / meteorización, la estructura, la rugosidad, la persistencia y el espaciamiento de las discontinuidades, con el fin de integrarlas en la clasificación del macizo rocoso y en la identificación de las principales familias de discontinuidades. Para ello, se utilizó el sistema de Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979), conocido como índice RMR.

El sistema de evaluación del macizo rocoso (Rock Mass Rating), también denominado Clasificación Geomecánica, fue desarrollado por Bieniawski durante los setentas.

7.6.3. Sistema de clasificación de geomecánica de macizos rocosos

Diversos esquemas de categorización de macizos rocosos están disponibles en la actualidad; no obstante, seis de ellos deben ser destacados, ya que representan aportes significativos en este campo. Estos son los propuestos por Terzaghi (1943), Lauffer (1988), Deere (1988), Wickham, (1972), Bieniawski (1979) y Barton, et, al., (1974). En el presente, el sistema RMR y el sistema Q 14 son las dos clasificaciones de masas rocosas más empleadas en la ingeniería geotécnica a nivel global (Bieniawski, 1993), siendo estas dos metodologías la base para el desarrollo de esta investigación. Como señalan Milne, Hadjigeorgiou y Pakalnis (1998): Los esquemas de categorización de macizos rocosos son un componente esencial en el diseño empírico de una mina. Se utilizan habitualmente para agrupar zonas con características geomecánicas similares, y proporcionan una orientación para el desempeño de estabilidad y la elección del soporte adecuado.

A lo largo del tramo se realizó dos estaciones geomecánicas ubicadas estratégicamente para la caracterización de los principales afloramientos rocosos que puedan afectar a la vía.

Estaciones geomecánicas	Coordenadas (Este)	Coordenadas (Norte)	Altitud (m)	Tipo de Roca
-------------------------	--------------------	---------------------	-------------	--------------



Estación geomecánica 1	181432.5	8539469.4	4440	Pizarra
Estación geomecánica 2	822498.9	8547137.5	3456	Arenisca

Fuente: elaboración propia



Fotografía 31: *Vista de la estación geomecánica 01*



Fotografía 32: *Vista de la estación geomecánica 02.*

7.6.4. RQD

Es un indicador cuantitativo de la calidad de la roca, propuesto por Deere, que se define como el porcentaje de recuperación de fragmentos de 100 mm o más de longitud, sin tener en cuenta las fracturas frescas causadas por el proceso de perforación en relación con la longitud total del testigo (QUISPE ARONÉS, Yuling, 2012, p.30).

Cuando no se dispone de perforaciones diamantinas, Palmstrom, en 1982, sugirió que el RQD podría estimarse a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen visibles en afloramientos rocosos o túneles, método que se utilizó en la presente tesis, por lo que Palmstrom formula la siguiente expresión:

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

Donde:

J_v : Numero de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3 que corten de manera independiente a cada uno de los 3 ejes de un cubo imaginario dentro del cuerpo rocoso.

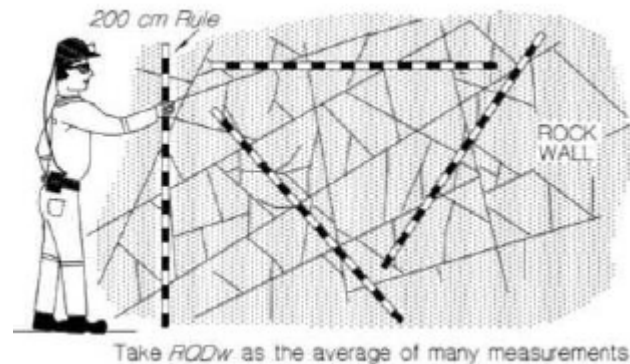


Figura 59: Identificación de juntas em el macizo rocoso para el RQD.

Datos de campo:

Tabla 68: Numero de juntas identificadas en las estaciones geomecánicas.

Juntas	Estación Geomecánica 1	Estación Geomecánica 2
Jvz	5	10
Jvy	6	7
Jvx	12	9
Total	23	26

Fuente: elaboración propia



Por lo cual aplicando la expresión de Palmstrom, obtenemos un RQD de para la estación geomecánica 01 y un RQD de 29.2% para la estación geomecánica 02, así obtendremos el índice de la calidad del macizo rocoso mediante el siguiente cuadro:

Tabla 69: Escala referencial del RQD.

RQD	Calidad del macizo
<25%	Muy pobre
25-50%	Pobre
50-75%	Normal
75-90%	Bueno
90-100%	Muy bueno

Fuente: elaboración propia

Por lo cual obtenemos una calidad de para los macizos rocosos:

Tabla 70: Resultados del RQD y calidad del macizo rocoso.

Estaciones geomecánicas	RQD	Calidad del macizo rocoso
Estación geomecánica 1	31.1%	Pobre
Estación geomecánica 2	29.2%	Muy pobre

Fuente: elaboración propia

7.6.5. RMR (Rock Mass Rating)

Explicado por Bieniawski en 1973, y adaptado en 1989, el cual emplea diferentes instrumentos de valoración que analizan diversos aspectos de los macizos rocosos, lo que a su vez facilita la conexión entre las características geotécnicas y los indicadores de calidad y de excavación.

Las categorizaciones geomecánicas de las rocas son esenciales para la caracterización de macizos rocosos, ya sea mediante la recolección de datos de afloramientos. Son cruciales para túneles y taludes, y permiten una clasificación del macizo rocoso.

El sistema está conformado por una metodología de clasificación de macizos rocosos que permite vincular los índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento.

La clasificación geomecánica RMR proporciona un índice de la calidad del macizo rocoso basándose en la resistencia de la roca intacta, el grado de fracturamiento y



diaclasado de las discontinuidades del macizo, la presencia de agua y la orientación de las discontinuidades en relación con el elemento en estudio: túnel, talud o cimentación. Además, considera la dirección de las discontinuidades en función de la cara libre de las labores presentes. Este sistema clasifica los macizos rocosos en una escala de 0 a 100 puntos, evaluando seis parámetros. Celada y Rodríguez, (2014):

- Resistencia a la compresión simple de la roca
- RQD
- Espaciamiento de las discontinuidades
- Estado o condición de las juntas
- Persistencia
- Apertura
- Rugosidad
- Relleno
- Grado de alteración
- Presencia de agua

7.6.5.1. Orientación de las discontinuidades.

Resistencia a la compresión uniaxial de la roca: se determina mediante la prueba de rotura a compresión uniaxial de muestras de roca o a través del ensayo de carga puntual. La puntuación varía entre 0 y 15 puntos, según la resistencia de la roca.

El grado de fracturamiento en los parámetros del RQD: Evalúa el nivel de fracturamiento del macizo rocoso utilizando el conocido RQD, otorgando 3 puntos para un RQD inferior al 25% y hasta 20 puntos para un RQD superior al 90%.

El espaciado de las discontinuidades (planos de debilidad): Como indica el enunciado, califica la distancia entre discontinuidades. La puntuación puede llegar a 20 puntos para diaclasas separadas por más de 2 metros y un valor mínimo de 5 puntos para diaclasas con un espaciado menor a 6 cm.

Condiciones o estado de las discontinuidades: Permite evaluar el estado de las diaclasas considerando la persistencia o longitud de las discontinuidades, la apertura,



rugosidad, presencia de relleno, y alteración de las juntas. La puntuación máxima es de 20 puntos, mientras que la mínima es de 0 puntos.

Presencia de agua: Evalúa las infiltraciones de agua en el macizo, el flujo hídrico y la humedad presente en las discontinuidades. La calificación alcanza un valor de 15 para un macizo rocoso seco y un valor de 0 cuando el agua fluye entre las juntas con un caudal superior a 125 l/min o cuando la relación entre la presión del agua y la tensión principal mayor supera 0,5.

Orientación de las discontinuidades: en relación con la estructura de la excavación. Se aplica un coeficiente de corrección en función de la dirección y el ángulo de inclinación, así como de la utilidad prevista del macizo.

En conjunto, el efecto de los parámetros geomecánicos sobre el comportamiento del macizo rocoso se refleja mediante el índice de calidad RMR (rock mass rating), el cual varía de 0 a 100.

Tabla 71: Clasificación RMR de Bieniawski.

CLASE MACIZO ROCOSO	DESCRIPCION	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-20

Fuente: elaboración propia

De los cuales, para la caracterización de los macizos rocosos en las estaciones geomecánicas evaluadas se obtuvo los siguientes valores:



Tabla 72: Clasificación RMR de la estación geomecánica 01.

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	
Ensayo de carga puntual	10-4	12
Compresión simple	No aplica	0
2	Índice RQD de la roca	
RQD (%)	25-50	6
3	Separación entre diaclasas	
Separación entre diaclasas (m)	0,2-0,6	10
4	Estado de las discontinuidades	
Longitud de la discontinuidad (m)	< 1	6
Abertura (mm)	0,1 - 1,0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5	Agua Subterranea	
Caudal por 10 m de tunel	No aplica	0
Presión agua/Tensión principal mayor	No aplica	0
Estado general	Ligeramente húmedo	10
Corrección por discontinuidades	Clasificación	Puntuación
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	No aplica	0
Taludes	Favorable	-5
	Puntuación	56

Fuente: elaboración propia



Tabla 73: Clasificación de la estación geomecánica 02.

Pámetros de clasificación		Clasificación	Puntuación
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)		
	Ensayo de carga puntual	No aplica	0
	Compresión simple	100-50	7
2	Índice RQD de la roca		
	RQD (%)	25-50	6
3	Separación entre diaclasas		
	Separación entre diaclasas (m)	0,2-0,6	10
4	Estado de las discontinuidades		
	Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
	Abertura (mm)	1-5	1
	Rugosidad	Ondulada	1
	Relleno	Ninguno	6
	Alteraciones	Ligeramente Alterada	5
5	Agua Subterranea		
	Caudal por 10 m de tunel	No aplica	0
	Presión agua/Tensión principal mayor	No aplica	0
	Estado general	Seco	15
Corrección por discontinuidades		Clasificación	Puntuación
Túneles		No aplica	0
Cimentaciones		No aplica	0
Taludes		Favorable	-5
		Puntuación	50

Fuente: elaboración propia

Por consecuente obtenemos los resultados del RMR para las estaciones geomecánicas evaluadas, los cuales se muestran a continuación:



Tabla 74: Resultado de la clasificación RMR de Bieniawski.

Estación Geomecánica	Puntuación	Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión (Kg/cm ²)	Angulo de rozamiento
Estación Geomecánica 1	56	Media	III	1 semana con 5m de vano	2-3	25-35°
Estación Geomecánica 2	50	Media	III	1 semana con 5m de vano	2-3	25-35°

Fuente: elaboración propia

Del estudio efectuado con la metodología indicada, se obtienen los siguientes resultados del cálculo de RMR como también del RQD, los mismo que sirven para determinar la valoración de resistencia y calidad del macizo rocoso:

Tabla 75: Resultado de las características geomecánicas.

SECCIÓN	TIPO DE ROCA	RQD	RMR
Estación Geomecánica 01	Pizarra	31.1 %	56
Estación Geomecánica 02	Arenisca	29.2 %	50

Fuente: elaboración propia



CAPÍTULO VIII IMPACTO AMBIENTAL



8.1. Aspectos generales.

El estudio es sobre el Impacto Ambiental, de la Tesis: que se encuentra en el distrito de Calca/Lares, Provincia de Calca, Departamento de Cusco.

En el Estudio a nivel de prefactibilidad del proyecto, se evalúan los posibles efectos adversos y beneficiosos que podrían generarse sobre el entorno y que se deben considerar para reducir y/o mitigar los posibles impactos adversos y potenciar los efectos positivos.

Los efectos derivados de la construcción serán examinados en relación con los elementos físicos y biológicos, así como con los aspectos socioeconómicos y el entorno de interés humano principalmente.

Con base en lo obtenido, se determinarán los parámetros propensos a experimentar los efectos del proyecto y también los componentes del entorno que podrían generar efectos adversos sobre el mismo.

A raíz de lo obtenido, se llevará a cabo la detección y previsión de impactos, tanto positivos como negativos, los cuales serán evaluados y ponderados, para posteriormente establecer recomendaciones para potenciar los positivos y proponer medidas de mitigación o corrección de los negativos en un plan de manejo ambiental, que incluirá un programa de seguimiento y control de la aplicación de las recomendaciones.

8.1.1. *Objetivos.*

El objetivo general del presente trabajo es evitar el deterioro de los componentes físicos, biológicos o aspectos socioeconómicos – humanos, que puedan verse afectados con el proyecto **“Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular del camino vecinal cu - 709 tramo Quellopuito – Lares cu-593, del distrito de Calca/Lares, provincia de Calca – Cusco”** elaborando un plan de gestión ambiental, cuya implementación contribuya a reducir o atenuar los efectos ambientales ocasionados. El análisis de Impacto Ambiental tiene como objetivo el fortalecimiento, consolidación y bienestar de la comunidad favorecida por el proyecto, fomentando y estimulando la participación activa de sus habitantes, para que asuman su papel protagónico en la preservación, conservación y mantenimiento de sus recursos naturales y culturales, con el fin de promover el progreso de la localidad.

En este marco los objetivos específicos son:

- Establecer la línea de base ambiental de la zona de influencia del proyecto.



- Identificar los impactos positivos y negativos que provoquen las actividades de la
- Construcción de la **“Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular del camino vecinal cu - 709 tramo Quellopuito – Lares cu-593, del distrito de Calca/Lares, provincia de Calca – Cusco”**
- Recomendar acciones complementarias del proyecto, orientados a mitigar o disminuir los impactos negativos y potenciar los positivos mediante un plan de manejo ambiental.

8.2. Beneficiarios.

Esta vía es muy utilizada tanto para el desplazamiento al centro poblado del distrito de Lares, y en mayor número al atractivo turístico como son los baños de Lares.

Asimismo, la presente vía articula el distrito de Calca con el distrito de Lares y sus principales atractivos turísticos, también es una vía que articula los mercados de la provincia de calca con los de la ciudad del cusco, asimismo la producción que se extrae de estos lugares es directamente comercializada en los diferentes mercados de la región.

También podemos observar que esta vía permite que la población del distrito de lares y las diferentes comunidades puedan contar con el acceso a los servicios de salud, educación, etc.

Por otro lado, la vía también se utiliza para enlazar a las poblaciones de Yanatile, Quebrada, San Miguel con el distrito de Calca.

8.2.1. Población beneficiaria del distrito de Calca

Uno de los involucrados más importantes, es la población del distrito de Calca, que será beneficiada directamente con el proyecto, la cual se compromete a asistir a los talleres de información y consulta pública, asimismo, contribuirán con el saneamiento físico legal de los terrenos que posiblemente se vean afectados con la construcción de la vía.

Al respecto, se realizará las actas de libre disponibilidad de terreno sin son necesarias, de igual manera está el compromiso de respetar las señales de tránsito tanto, en la etapa de ejecución de la obra como en el funcionamiento, con el objetivo de contar con una vía en las mejores condiciones de transitabilidad y pertinente mantenimiento dentro del periodo contemplado en el horizonte de evaluación.

8.2.2. Población beneficiaria del distrito de lares

Otro de los involucrados más importantes, es la población del distrito de Lares, que será beneficiada directamente con el proyecto, la cual se compromete a asistir a los talleres de



información y consulta pública, asimismo, contribuirán con el saneamiento físico legal de los terrenos que posiblemente se vean afectados con la construcción de la vía.

Al respecto, se realizará las actas de libre disponibilidad de terreno sin son necesarias, de igual manera está el compromiso de respetar las señales de tránsito tanto, en la etapa de ejecución de la obra como en el funcionamiento, con el objetivo de contar con una vía en las mejores condiciones de transitabilidad y pertinente mantenimiento dentro del periodo contemplado en el horizonte de evaluación.

8.3. Diagnóstico ambiental.

Con el fin de establecer los efectos negativos en el proceso de la construcción del Proyecto, es necesario realizar el diagnóstico ambiental de acuerdo al proceso constructivo de la obra, debido a dos motivos:

- Para prever las alteraciones que se puedan producir en el medio físico y social.
- Como una fuente de datos que permita evaluar para su mitigación una vez que se ha realizado la obra para su posterior funcionamiento.

Es importante mencionar que el proyecto “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular del camino vecinal cu - 709 tramo Quellopuito – Lares cu-593, del distrito de Calca/Lares, provincia de Calca – Cusco” consiste en un mejoramiento que se hará sobre la base de camino vehicular el cual está en pésimas condiciones de transitabilidad, por la ausencia de trabajos de mantenimiento, por ende, no tendrá mayor modificación en el componente abiótico.

8.4. Marco legal e institucional.

- Acerca de las Normas existentes en el Perú y que han sido tomadas como base para la ejecución del presente trabajo, se cuenta con dispositivos legales emitidos por sectores estatales correspondientes, tales como:

La constitución Política del Perú de 1993 establece en su artículo 58”: “... el estado orienta el desarrollo del país y actúa principalmente en las áreas de promoción de empleo. Salud, educación, seguridad, servicios públicos e infraestructura”

Así mismo establece en el inciso 22 de su artículo segundo que toda persona tiene derecho “... a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”.

Sobre canteras, el Ministerio de Energía y Minas ha publicado dos normas que regirán el aprovechamiento en obras del Estado. Así mismo el Ministerio de Agricultura ha dado la ley 26737 y su reglamento para el manejo de canteras de río.



- Las siguientes Normas legales sustentan la necesidad del estudio de Impacto ambiental:

Ley del Consejo Nacional del Ambiente Ley N° 26410 cuyo art.3° promueve la conservación del ambiente y el Inciso “e” de su artículo 4° establece criterios generales para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. (CONAM, 2016).

El D.S. N°048-97-PCM del 04-10-97. reglamento de Organización y funciones del CONAM, en su artículo 25° establece que: Corresponde al CONAM en ejercicio de la función contenida en el Inciso “c” del artículo 4° de la Ley, establece los criterios generales para la elaboración de estudios de impacto ambiental, los cuales serán aprovechados a través de decretos Supremos”. (CONAM, 1997).

Ley de Evaluación de Impacto Ambiental por Obras y actividades. Ley N° 26786 que modifica los artículos 51° y 52° del Decreto Legislativo N° 757 mediante la cual el CONAM asume su rol de coordinador Inter. Sectorial. (CONAM, 1997)

Ley Marco para el crecimiento de la Inversión Privada, D. Legislativo N° 757 en cuya disposición complementaria menciona como autoridad competente a la autoridad sectorial.

Código Penal que reprime con pena privativa la alteración ilegal del ambiente natural por construcciones de obras Art. 313°

8.5. Descripción del proyecto.

La descripción ambiental de la obra, como una parte fundamental del estudio de Impacto Ambiental, permite conocer las acciones y actividades en sus diversas etapas para estimar los efectos negativos sobre el ambiente.

El proceso de la construcción comprende el conjunto de actividades como trabajos topográficos. obras de concreto simple, concreto armado, y movimiento masivo de tierras, adicionalmente van existir acciones derivadas, tales como la explotación de canteras de agregados, el uso de botaderos para la eliminación del material excedente, residuos de campamentos, influencia de otras actividades menores entre otros.

8.6. Área de influencia.

El área de influencia será longitudinalmente igual a la longitud de la vía que se construirá, con un ancho promedio de 5 metros.

Considerando que las obras adicionales proyectadas, son de pequeña magnitud, como son los badenes, alcantarillas y pontones, siendo estas incluidas dentro de la longitud total de la vía, por lo tanto, la Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) se centrará en el Área de Influencia



Directa (AID) definida solamente por el área de la vía y su afectación dentro de la población existente.

8.7. Evaluación de impacto ambiental.

La evaluación de Impacto Ambiental es un procedimiento que abarca una serie de técnicas y métodos diseñados para proporcionar y detallar los efectos que la ejecución del proyecto puede tener sobre el entorno. Se refiere, en términos generales, a cualquier cambio, ajuste o alteración duradera en los elementos del medio ambiente o en las interacciones entre ellos, provocada por las actividades del proyecto durante la fase de preparación, construcción y funcionamiento en el área de influencia directa.

Por lo tanto, es crucial considerar que el proceso constructivo del Proyecto conlleva modificaciones en el terreno original.

Los impactos potenciales derivados de la construcción se examinan en relación con los componentes aire, agua, suelo, vegetación, fauna y los aspectos socioeconómicos de la población. Se presentan medidas adicionales al plan de la obra dirigidas al control o atenuación de estos impactos en el programa de gestión ambiental.

Este es un proceso esencialmente predictivo para ello, se trabaja con la Matriz de Identificación Causa-Efecto, adaptada a las características del proyecto, donde se identifican los recursos o componentes a utilizar, las actividades de la construcción y los impactos ambientales producidos. Los resultados de esta fase de análisis se presentan en la Matriz N° 01

8.8. Diagnóstico ambiental.

Para identificar los impactos adversos durante el proceso de construcción del Proyecto, es necesario llevar a cabo un diagnóstico. Este diagnóstico tiene como objetivo anticipar las modificaciones que podrían ocurrir en el entorno físico, biológico, socioeconómico y en aspectos de interés humano. Sirve como una fuente de información que facilita la evaluación para su mitigación una vez que se ha completado la obra y está en funciones.

8.8.1. La infraestructura y su entorno.

La comunidad beneficiaria, debido a sus características, requiere que las nuevas edificaciones se ajusten a los códigos y acuerdos, que permitirán definir la tipología, así como el uso correcto de materiales y elementos inherentes a cualquier proceso de construcción.



Se estima que podría haber un impacto ambiental negativo únicamente si no se cumplen las normas de restauración y adaptación al entorno natural. La única medida preventiva en caso de encontrarse algún hallazgo arqueológico es el cumplimiento de las normas.

8.8.2. Suelos y usos principales.

La valoración del Recurso Suelo, tanto en sus propiedades edáficas como en sus posibilidades de utilización, tiene como objetivo ofrecer un informe de datos y aplicación para la creación de estrategias en cuanto a la conservación y protección del entorno.

8.8.3. Evaluación vegetal.

En algunas zonas del proyecto se encuentran áreas dedicadas al cultivo, también encontramos áreas carentes de vegetación. La característica para esta zona de vida, radica en su Clima diverso debido a la altitud que comprende entre 2,925 m.s.n.m.

8.8.4. Evaluación climatológica.

El examen del clima en la provincia de Calca puede llevarse a cabo por regiones naturales, basándose en los sitios más representativos: la Selva Alta y la ceja de selva, los valles de Yanatile y Yavero o Mapacho, y para la zona interandina, el valle del Vilcanota. Las características heterogéneas de topografía y fisiografía a lo largo del territorio provincial resultan en climas diversos y marcadamente distintos entre la zona del piso del valle, las áreas elevadas y la ceja de selva amazónica. La configuración climática de la provincia está influenciada por el macroclima de grandes masas de aire provenientes de la selva suroriental, el altiplano e incluso de la remota Patagonia. Los vientos de la selva sur traen grandes masas de aire cargadas de humedad, impulsadas por los vientos alisios del este. Además, las condiciones geomorfológicas de la provincia generan climas mesoclimáticos y microclimáticos con numerosas variaciones espaciales y temporales. En la cuenca media del Vilcanota, la intensa radiación solar diurna y la baja capacidad de retención de calor debido a la escasa cobertura vegetal y la baja humedad relativa provocan drásticos cambios de temperatura entre el día y la noche. Las temperaturas anuales fluctúan entre una máxima de 25,13° C y una mínima de 2,5° C, con un promedio de 14,08° C durante el año. Se presentan estaciones con lluvias marcadas de octubre a marzo, con precipitaciones intensas, y estaciones secas de mayo a septiembre, caracterizadas por cielos despejados y sol radiante, con temperaturas casi uniformes entre 15° C y 21° C. Las precipitaciones anuales promedio oscilan entre 540 mm y 600 mm, resultando en un clima seco para esta zona. Por otro lado, en las vertientes amazónicas, en las cuencas de Yanatile y Yavero o Mapacho, las



laderas altas de las montañas, por encima de los 2300 msnm, permanecen cubiertas de neblinas casi todo el tiempo, y las temperaturas siempre son inferiores a 12° C. A medida que se desciende, las temperaturas aumentan significativamente en la zona de transición hacia Yanatile, donde la influencia cálida y húmeda de la Amazonia fomenta un clima cálido y húmedo. Este comportamiento regula y condiciona el calendario agrícola de la zona, con siembras que comienzan en septiembre aprovechando las primeras lluvias, y cultivos que se extienden hasta mayo o junio.

8.8.5. Características ecológicas.

Desde una perspectiva ecológica, el área de influencia del proyecto en sus niveles inferiores exhibe una variedad en su composición geológica, geográfica y climática, lo que da lugar a una fauna y flora silvestre que abarca especies de relevancia social, económica y ecológica. En Perú, se encuentran 372 especies de mamíferos, de las cuales 43 son endémicas (es decir, con distribución exclusiva en el país), 1,645 especies de aves (110 endémicas) y 27 especies endémicas de anfibios, representando animales característicos de la región eco zoogeográfica adaptadas por el Instituto Nacional Forestal y de Fauna del área en estudio.

8.8.6. Características socio-culturales.

El progreso de una nación no solo se mide en términos de variables sociales y económicas, sino también en función de la valoración de las variables medioambientales. La evaluación de aspectos ambientales se ha convertido en un componente clave del desarrollo, ya que factores como la contaminación, el deterioro de los Recursos Naturales y el crecimiento poblacional desempeñan un papel significativo. Por ello, la implementación del proyecto está dirigida a alcanzar un desarrollo sostenible que sea completamente compatible con la naturaleza, donde los conocimientos ancestrales relacionados con los Recursos Naturales Culturales y la belleza paisajística sean adecuadamente preservados para respetar la identidad cultural en sus tradiciones, cultos, costumbres, festividades, ritos y todos los elementos que constituyen la cosmovisión andina, tales como el fuego, la tierra y el agua, deben ser debidamente considerados durante la realización de la obra.

8.8.7. medidas de mitigación.

Las acciones de mitigación buscan definir las actividades que deben implementarse para prevenir o gestionar riesgos ambientales, así como posibles accidentes o desastres. También tienen



el propósito de mitigar los impactos que puedan surgir debido a eventos relacionados con fenómenos naturales y emergencias provocadas por otros factores. A continuación, se detallan las medidas de mitigación contempladas para el estudio:

8.8.7.1. Disposiciones de Deshechos de corte.

Siempre que sea factible, los materiales de excavación deberán emplearse en las áreas donde se requieran rellenos. Cuando el volumen de los trabajos de excavación exceda el de los rellenos necesarios, el excedente podrá ser dispuesto, en la medida de lo posible, en lugares adecuados (vertedores), como sitios apartados de asentamientos, zonas agrícolas y otras áreas que deban ser conservadas. Los lugares designados como vertederos no podrán ser zonas arqueológicas o áreas de protección forestal, y tampoco deben afectar canales de riego, acueductos o cuerpos de agua.

8.8.7.2. Control de accidentes.

Durante la fase de construcción, el aumento de vehículos, maquinaria, trabajadores y peatones podría elevar el riesgo de accidentes, poniendo en peligro la integridad física de las personas. Por ello, todas las vías de acceso, entradas a campamentos, áreas de maquinaria, canteras, etc., deben estar correctamente señalizadas. De igual manera, se debe establecer un control de acceso en los frentes de trabajo del proyecto para evitar la entrada de personas no autorizadas.

8.8.7.3. Control de eliminación de residuos a las fuentes de agua.

No se debe permitir la eliminación de residuos como cemento, gasolina, petróleo, pinturas y solventes en fuentes de agua bajo ninguna circunstancia. Estos residuos deben ser gestionados únicamente en el Área de Maquinaria, que deberá contar con sistemas apropiados para la evacuación de residuos, aceites, grasas o combustibles.

8.8.7.4. Control de material excedente.

A lo largo de la realización del proyecto, los materiales sobrantes de excavaciones y rellenos deben colocarse en los sitios apropiados. Bajo ninguna circunstancia se deben verter materiales excedentes en fuentes de agua, en terrenos agrícolas o en propiedades privadas.

8.8.7.5. Campamento de Obra.

Instalación de servicios sanitarios portátiles para el uso del personal de construcción y técnicos. Si el sistema es fijo, deberá contar con un sistema de tratamiento de aguas



residuales. En los talleres de mantenimiento, se debe evitar el contacto de aceites, grasas, hidrolina, petróleo u otros agentes tóxicos con el suelo, por lo que se deben disponer de sistemas adecuados para el manejo de aceites y grasas en cada taller. El supervisor debe asegurarse de que los equipos y el personal de construcción no descarguen ni emitan fluidos que contaminen el medio ambiente o superen los límites permisibles de emisión de líquidos.

El campamento debe disponer de servicios de agua potable, drenaje y electricidad, así como de instalaciones sanitarias como duchas, inodoros y lavabos, entre otros. Salvo en situaciones de vigilancia y seguridad, se debe evitar el uso de armas de fuego. El consumo de bebidas alcohólicas dentro del campamento está prohibido. Tanto el campamento como el área de maquinaria deben estar adecuadamente señalizados. Al finalizar el proyecto, el encargado de la obra debe implementar un plan de reforestación en las áreas donde se haya realizado remoción de vegetación y se presenten problemas de erosión, tales como las zonas de campamentos o canteras.

8.8.7.6. Control de la eliminación de residuos sólidos

Se debe confirmar que el encargado de la obra supervise el cumplimiento de la eliminación de residuos, los cuales deben ser reciclados adecuadamente. En otras palabras, todos los residuos deben ser colocados en bolsas de polietileno y depositados en los vertederos previamente establecidos.

8.9. Programa de educación ambiental para trabajadores y pobladores.

Este programa incluye las directrices fundamentales de formación y educación ambiental para instruir al personal encargado de llevar a cabo la obra, incluyendo a ingenieros y técnicos.

8.9.1. Objetivos:

- Concienciar y sensibilizar al personal de construcción y a la comunidad en general sobre la importancia de conservar y proteger el medio ambiente.
- Implementar actividades de formación y educación enfocadas en la preservación ambiental, como la gestión correcta de residuos sólidos y ligeros.
- Fortalecer la capacidad institucional para la aplicación efectiva de este programa.

8.9.2. Actividades:

- Al personal de construcción: Curso sobre seguridad ambiental, riesgos en el sitio de trabajo y sistemas ecológicos.



- Al personal profesional: Formación en temas ambientales, desarrollo de conceptos relacionados con el desarrollo sostenible o la sostenibilidad del proyecto.
- A la comunidad: Instruir a las diversas organizaciones sociales que deberán ayudar a fomentar los valores y hábitos necesarios para la protección de la naturaleza.

Se concluye que:

- ✓ El análisis de Impacto Ambiental es tanto un procedimiento como un resultado; como procedimiento, es la actividad mediante la cual se intenta anticipar los tipos de efectos reales y posibles de las interacciones esperadas entre un nuevo proyecto y el entorno natural/humano.
- ✓ La Ejecución del “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular del camino vecinal CU - 709 tramo Quellopuito – Lares cu-593, del distrito de Calca/Lares, provincia de Calca – Cusco”, no causará contaminación ambiental en la área debido al uso de materiales de construcción que en su mayoría provienen del mismo sitio, mientras los materiales como piedra chancada, hormigón, arena y arena fina, y demás agregados usados en la conformación de la superficie de rodadura proceden de canteras cercanas.
- ✓ La Implementación producirá un efecto beneficioso ya que incrementará el bienestar de la comunidad en general a mediano y largo plazo, optimizando la conectividad entre las comunidades beneficiarias.
- ✓ El Proyecto generara puestos de obra para el personal especializado y no especializado de manera temporal, lo cual eleva el estándar de vida de los habitantes.
- ✓ Los efectos causados en el entorno físico son de menor relevancia, mientras que en el entorno socioeconómico y ambiental, los efectos son extremadamente relevantes.



Tabla 76: Resumen de las etapas de construcción de obras preliminares y movimientos de tierras.

ETAPA	ACTIVIDADES	EFFECTOS PRIMARIOS	MEDIO FISICO	MEDIO BASICO	MEDIO SOCIOECONOMICO Y CULTURAL
CONSTRUCCION	OBRAS PRELIMINARES				
	Limpieza del terreno, Obras preliminares, Obras provisionales, Trazo y replanteo.	Malezas, Escombros, desechos urbanos, contaminación de la zona, gases de combustión, polvo, residuos solidos	Probable contaminación de suelos, Contaminación atmosférica, Contaminación sonora, Alteración del Paisaje	No presenta	Molestias a los pobladores del sector por generación de ruidos, partículas sueltas, Probables conflictos sociales, Probables riesgos de accidentes, Generación de empleo.
	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
	Nivelación del terreno, Cortes, Excavaciones, Compactación de relleno, Eliminación de material excedente	Partículas sueltas, Ruido, Material excedente, Gases de combustión, Residuos sólidos, Residuos peligrosos.	Contaminación Atmosférica, Contaminación sonora, Probable afectación a los recursos hídricos, Probable contaminación de suelos.	No presenta	Molestias a los pobladores del sector por generación de ruidos y partículas sueltas, Probables conflictos sociales por las áreas de acopio y de depósitos de material excedente, Probables riesgos de accidentes, Generación de fuentes de empleo.

(Fuente: elaboración propia)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

9.1.1. Conclusiones generales:

1. El estudio geológico y geotécnico ha identificado la presencia de depósitos cuaternarios a lo largo del tramo Quellopuito-Lares. Se destacan los depósitos coluviales ubicados en las pendientes pronunciadas de los cerros adyacentes a la carretera y en las laderas del arroyo, compuestos por fragmentos de piedra en una mezcla limosa-arcillosa, así como fragmentos de pizarras. Se observan acumulaciones de deslizamientos en los taludes, algunos de los cuales son inestables y activos. También se identificaron depósitos glaciares en las progresivas 1+200, 5+000, 7+450, 10+850, compuestos por material no consolidado con gravas en una matriz de limo y arcilla, y materiales provenientes de pizarras, cuarcitas y rocas volcánicas. Asimismo, se registraron depósitos fluvioaluviales en la progresiva 0+450, con una matriz limo-arcillosa, donde el material conformante es principalmente grava esquistosa e intercalada con gravas del grupo Mitú. Finalmente, la formación Sandia aflora en las progresivas 0+850, 3+000, 6+900, 8+000, 24+700, caracterizándose por cuarcitas metareniscas intercaladas con pizarras negras altamente alteradas.
2. En el estudio geotécnico, se realizaron 32 calicatas a cielo abierto hasta los 1,50 m de profundidad cada 1 km aproximadamente. Se llevaron a cabo ensayos en laboratorio, clasificándose mediante SUCS, AASHTO, límites de Atterberg, compactación y CBR. Se evidenció un nivel freático en las progresivas 09+350 y 28+71. También se identificaron afloramientos rocosos a nivel de subrasante en las progresivas 02+260, 03+180, 06+175, 06+510. Con base en los ensayos de laboratorio y un CBR obtenido



al 95% en estas calicatas, los tramos más críticos que requieren mejoramiento a nivel de subrasante se encuentran en las progresivas 01+380, 09+350, 14+440 y 29+730.

9.1.2. Conclusiones específicas:

1. El análisis detallado de los rasgos geomorfológicos ha permitido considerar con precisión la topografía local. Se identificaron pendientes que oscilan entre 15% a 45%, localizándose el eje de vía principalmente sobre unidades geomorfológicas como valle glaciar, terrazas aluviales, vertientes con depósitos de deslizamientos, y montañas de rocas metamórficas y sedimentarias.
2. Se identificaron dos zonas críticas generadas por agentes geodinámicos externos. La primera es un deslizamiento de talud inferior de la plataforma, mostrando grietas tensionales de coronación en el Km 00+320 – Km 00+345. La segunda es un deslizamiento activo compuesto por material de cobertura limo-arcillosa con clastos de rocas pizarras, ubicado entre el Km 29+260 a Km 29+440.
3. En el análisis geomecánico, se realizaron dos estaciones de clasificación RMR de Bieniawski. En la primera estación, en una roca de tipo pizarra, se obtuvo un RQD de 31.1%, calificándose la calidad del macizo rocoso como pobre (RMR = 56). En la segunda estación, se obtuvo un RQD de 29.2%, indicando también un macizo rocoso pobre (RMR = 50).
4. En el análisis de estabilidad de taludes en las dos zonas críticas, el factor de seguridad en el talud de progresiva 00+320 a 00+345 es $FS = 0.44$, recomendándose la construcción de un muro de sostenimiento en su base, compuesto por una superposición de piedras de bolonería de más de 1 m de diámetro. En la segunda zona crítica, entre las progresivas 29+260 a 29+440, el factor de seguridad es $FS = 0.463$,



sugiriéndose un tratamiento de estabilidad de taludes mediante la modificación de la geometría del talud con banquetas a 7 y 14 m (talud de corte 2:1).

5. Se identificaron un total de 7 canteras, de las cuales 6 se encuentran en el eje de vía y una con acceso a aproximadamente 4 km en la progresiva 21+900. Estas canteras cumplen los requisitos mínimos para su uso como material de mejoramiento a nivel de subrasante, aunque ninguna satisface los estándares mínimos para el diseño de subbase y base. Se optó por la dosificación de material entre las canteras 1, 2 y la cantera de Napacocha para el diseño de la base, realizándose la dosificación de cantera 02 (40%); cantera Napacocha (30%); piedra chancada Morroblanco – confitillo (30%); y piedra chancada Morroblanco (grava 1" (10%); grava de ¾" (20%); grava de ½" (30%); confitillo (30%)); agregado fino Lamay (10%).

9.2. Recomendaciones

- Se recomienda establecer un programa de monitoreo continuo de las condiciones geológicas y geomorfológicas a lo largo del tiempo. Esto permitirá detectar posibles cambios o eventos naturales que puedan afectar la estabilidad de la carretera y tomar medidas preventivas.
- Dada la dinámica de las condiciones geológicas, se sugiere realizar actualizaciones periódicas del estudio geológico y geotécnico, especialmente después de eventos sísmicos, lluvias intensas u otras eventualidades que puedan afectar la infraestructura vial.
- Implementar un plan de manejo ambiental que incluya prácticas sostenibles durante la ejecución de las obras, minimizando el impacto ambiental en la zona y asegurando la conservación de la biodiversidad local.



- Realizar un estudio detallado para optimizar la extracción de materiales de las canteras identificadas, considerando la cantidad necesaria para la carretera y evaluando la posibilidad de reutilización de materiales excavados en la propia obra.
- Incluir programas de capacitación para la comunidad local en temas de seguridad vial, prevención de riesgos geológicos y geotécnicos, fomentando la participación activa y la conciencia sobre la importancia de la infraestructura para el desarrollo regional.
- Establecer protocolos de emergencia en caso de eventos geológicos adversos, asegurando una respuesta rápida y eficiente para minimizar posibles daños a la carretera y garantizar la seguridad de los usuarios.
- Considerar la posibilidad de llevar a cabo investigaciones adicionales en áreas específicas donde se hayan identificado condiciones geológicas más complejas, con el objetivo de refinar aún más las soluciones propuestas y anticipar posibles desafíos.
- Fomentar la coordinación entre entidades gubernamentales, instituciones locales y la comunidad para garantizar una ejecución eficiente y abordar de manera integral los aspectos sociales, económicos y ambientales asociados al mejoramiento de la carretera.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6, 189-236.
- Bieniawski, Z. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 12, 335-343.
- Bieniawski, Z. (1979). *The geomechanics classification in rock engineering applications*. ISRM Congress.
- Bishop, A. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17.
- Bowman, I. (1916). *The Andes of southern Peru: Geographical reconnaissance along the seventy-third meridian*. American Geographical Society of New York.
- Braja, M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. CENGAGE Learning.
- Cabrera, A., & Peterson, G. (1930). *Mapa geológico de las regiones de Zorritos y Villar*.
- Cabrera, J. (1988). *Neotectónica y Sismotectónica en el nivel de la Subducción en Perú*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Candia, F., & Carlotto, C. (1985). *Estudio geológico de la zona Huambutío-Lamay*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Carlotto, V. (1992). *Relacion entre sedimentacion Paleogeografía y tectónica en la región de Cusco entre el Jurásico Superior y el Paleoceno*. Grenoble.
- Carlotto, V., Candia, F., & Marocco, R. (1988). Estudio geológico de Anticlinal de Vilcanota-Cusco. *Boletín Social de Geología del Perú* (78), 137-147.
- Celada, T., & Rodríguez, V. (2014). *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocoso*.



- Chávez, R. (1995). *Geología estratigrafía y tectónica de la región Calca-Urubamba*. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- CONAM. (4 de 10 de 1997). Decreto Supremo N 048-97-PCM Reglamento de organización y funciones del Consejo Nacional del Ambiente. *El Peruano*, págs. 153149-153153. Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/per11306.pdf>
- CONAM. (1997). *Ley de Evaluación de Impacto Ambiental por Obras y actividades*. Ley N° 26786. Congreso de la República.
- CONAM. (2016). *Ley del Consejo Nacional del Ambiente Ley N° 26410*.
- Dalmayrac, B. (1970). *Evidencia de una cadena anterior al Ordovícico y probablemente precámbrica en la Cordillera Oriental del Perú central (región de Huánuco)*.
- De Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación.
- Deere, D. (1988). *The Rock Quality Designation (RQD) index in practice*. American.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Juárez, B. (1961). *Mecanismo de las grietas de tensión en el Valle de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kalafatovich, C. (1956). *La glaciación pleistocénica en Urubamba*. Revista Universitaria.
- Lambert, W. (1986). Descripción preliminar de los estratos de tefra de Tlapacoya I. *Instituto Nacional de Antropología e Historia*, 77-100.
- Laubacher, G. (1974). El Paleozoico inferior de la Cordillera Oriental del sureste de Perú. *Série Géologique*, 6(1), 29-40.



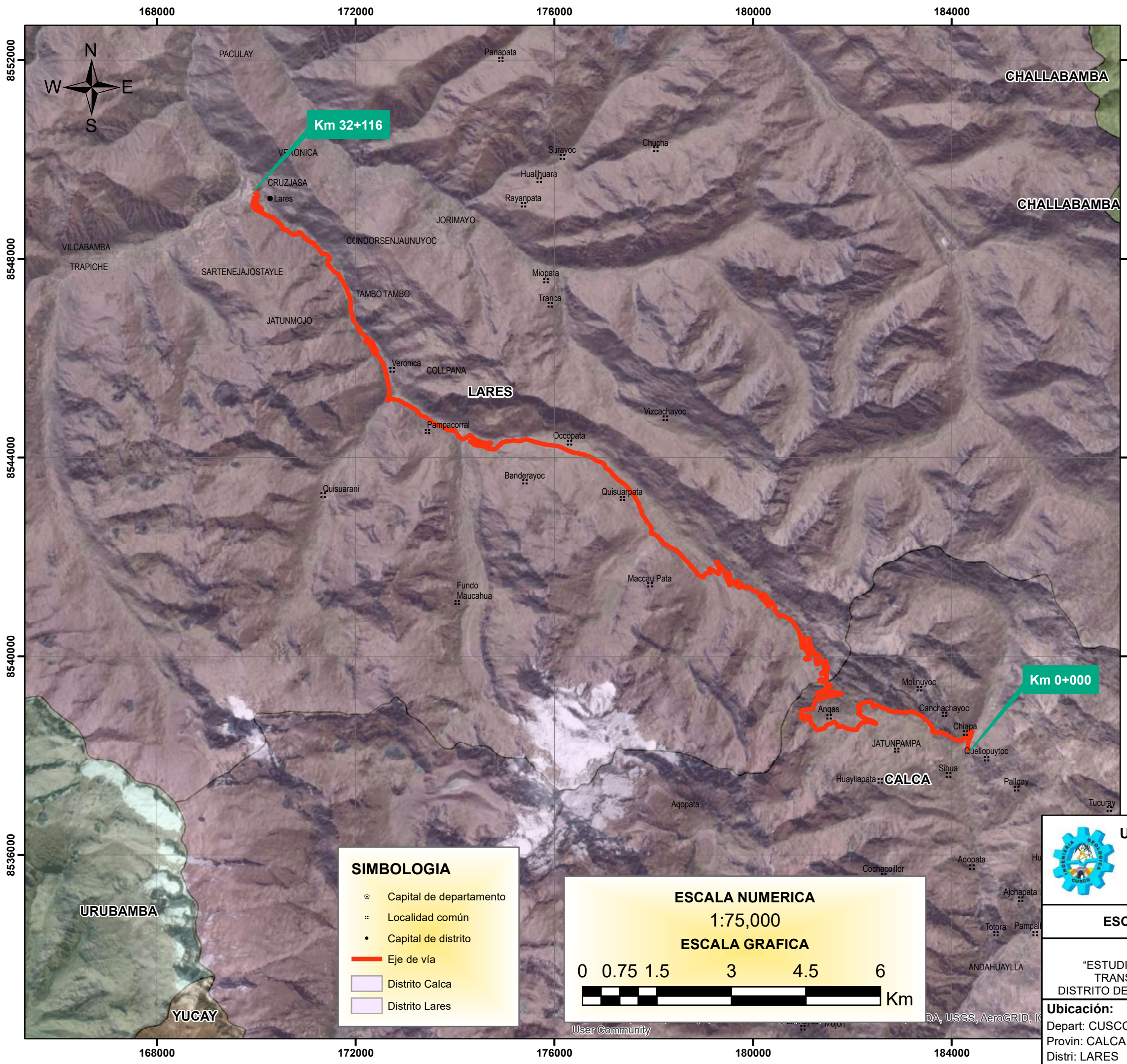
- Laubacher, G. (1978). *Geología de la Cordillera Oriental y del Altiplano al norte y noroeste del lago Titicaca (Perú)*. IRD Editions.
- Lauffer, R. (1988). Solution structure and dynamics of lanthanide (III) complexes of diethylenetriaminepentaacetate: a two-dimensional NMR analysis. *Inorganic Chemistry*, 27(26), 4730-4738.
- Marocco, R. (1978). *Estudio geológico de la Cordillera de Vilcabamba*.
- McLaughlin, D. (1924). Geology and physiography of the Peruvian Cordillera. *Bulletin of the geological Society of America*, 35(3), 591-632.
- Mégard, F., Dalmayrac, B., Laubacher, G., Marocco, R., Martínez, C., Paredes, J., & Tomasi, P. (1971). *La cadena herciniana en Perú y Bolivia; primeros resultados*.
- Navarro, A. (2014). *El impacto de las tiendas por conveniencia*. Consultora Arellano.
- Newell, N. (1949). Geology of the Lake Titicaca region, Peru and Bolivia;. *Geological Society of America*, 36, 32-34.
- Palmstrøm, A. (1975). *Characterization of degree of jointing and rock mass quality*. Intern. Report Ing. AB. Berdel, AS Oslo.
- Ramírez, P., & Monge, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Universidad Politecnica de Madrid.
- Suárez, L. (2015). *Evaluación de la estabilidad y propuesta de sostenimiento para el túnel Levisa-Mayarí, tramo IV*. Departamento de Minería.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc. .
- Vesić, A. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. *Journal of the soil mechanics and foundations division*, 99(1), 45-73.



Wickham, J. (1972). Structural history of a portion of the Blue Ridge. *Geological Society of America Bulletin*, 83(3), 723-760.



ANEXOS



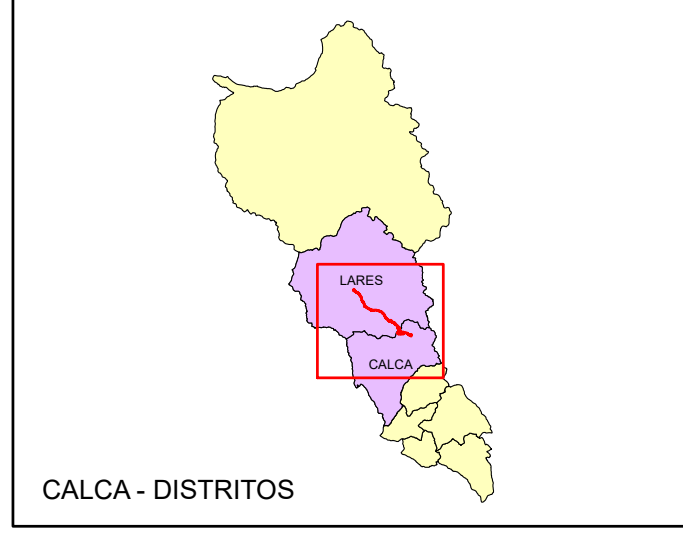
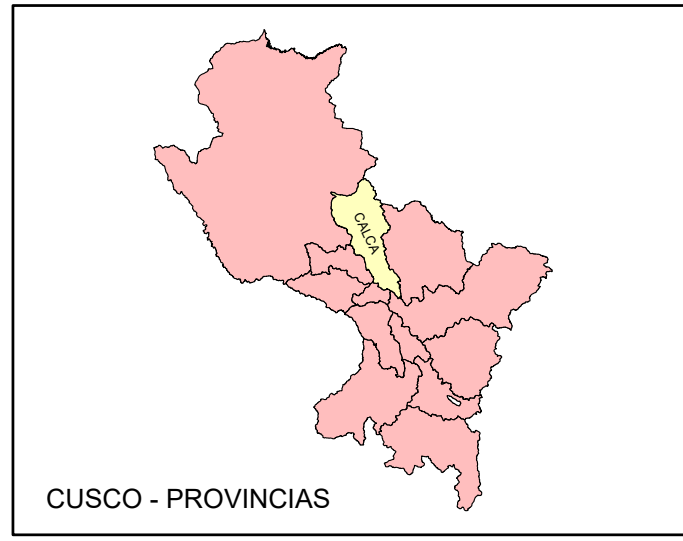
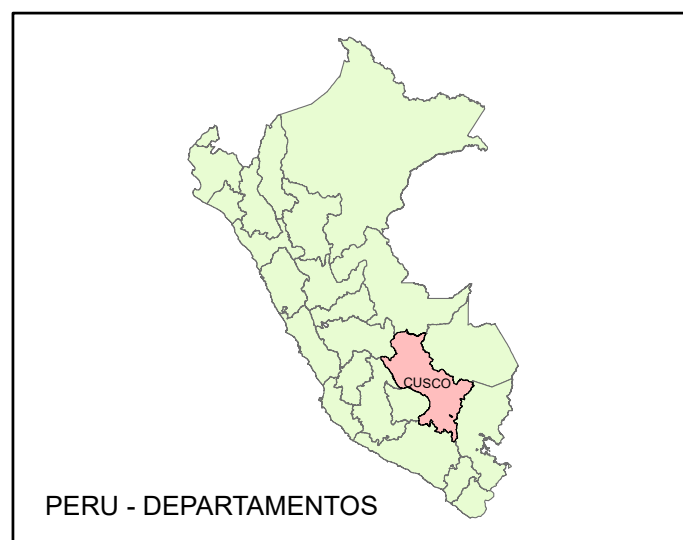
SIMBOLOGIA

- Capital de departamento
- ⊘ Localidad común
- Capital de distrito
- Eje de vía
- Distrito Calca
- Distrito Lares

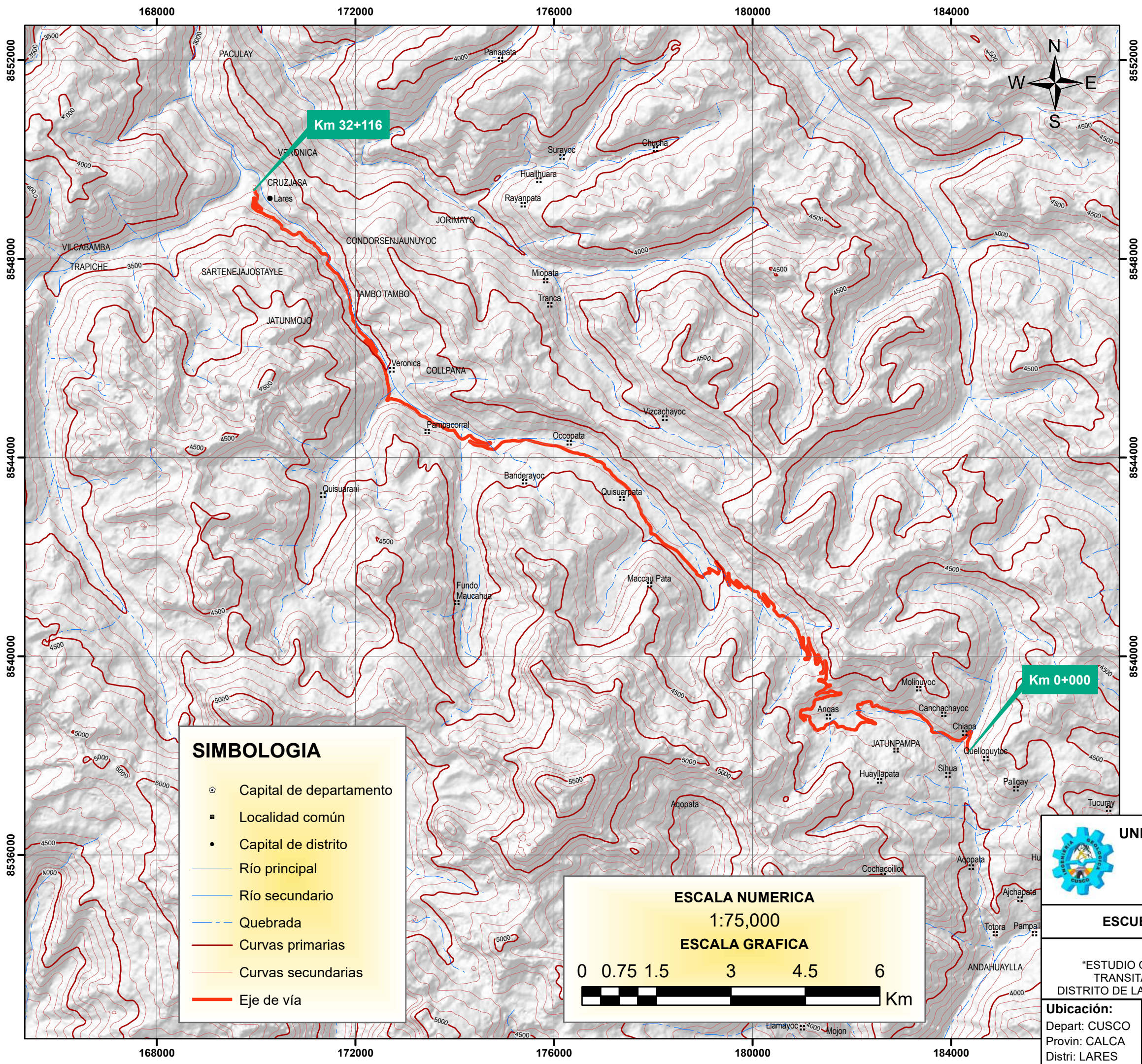
ESCALA NUMERICA
1:75,000

ESCALA GRAFICA

0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
Título de la tesis: “ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”		
Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA DE UBICACIÓN Fecha: MAYO 2023 Escala: 1/75000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL
		M-01



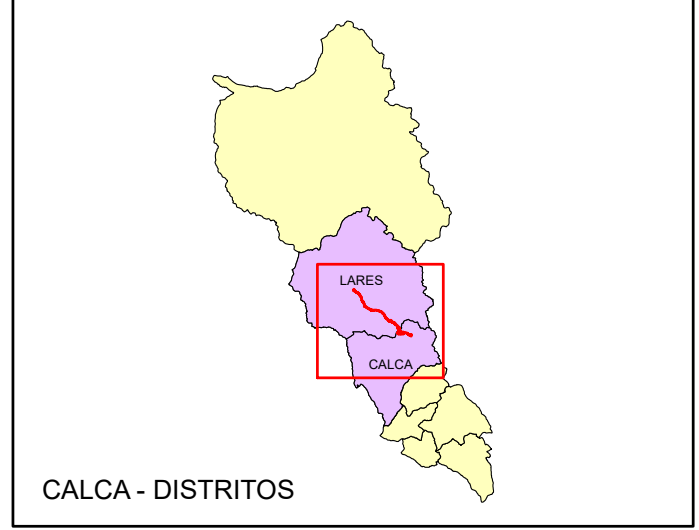
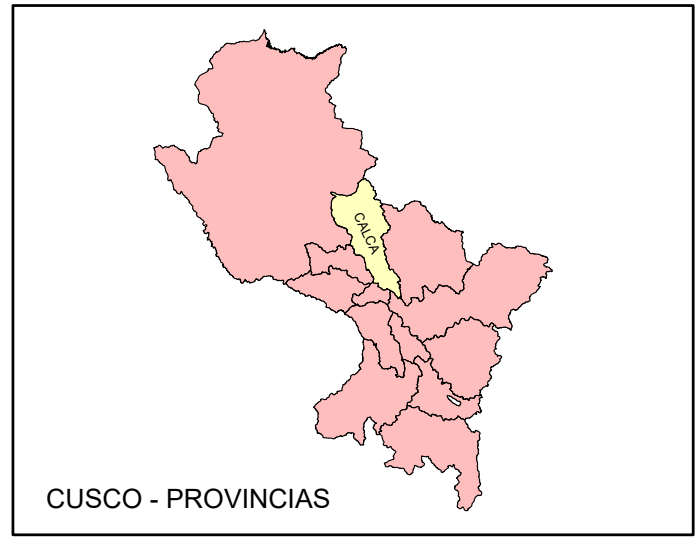
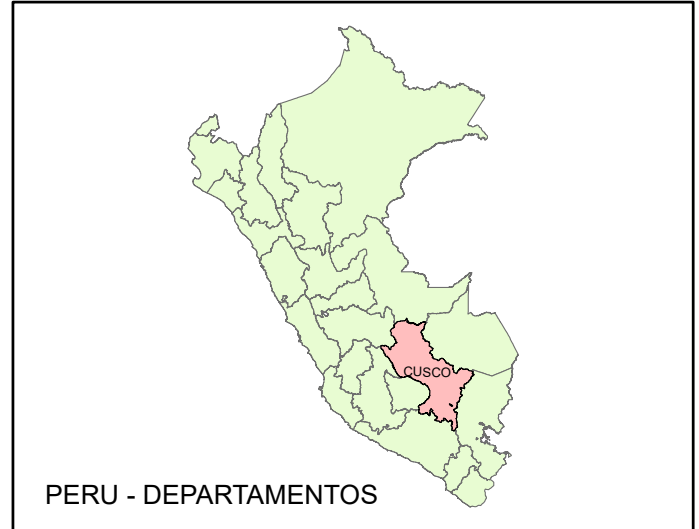
SIMBOLOGIA

- Capital de departamento
- Localidad común
- Capital de distrito
- Río principal
- Río secundario
- Quebrada
- Curvas primarias
- Curvas secundarias
- Eje de vía

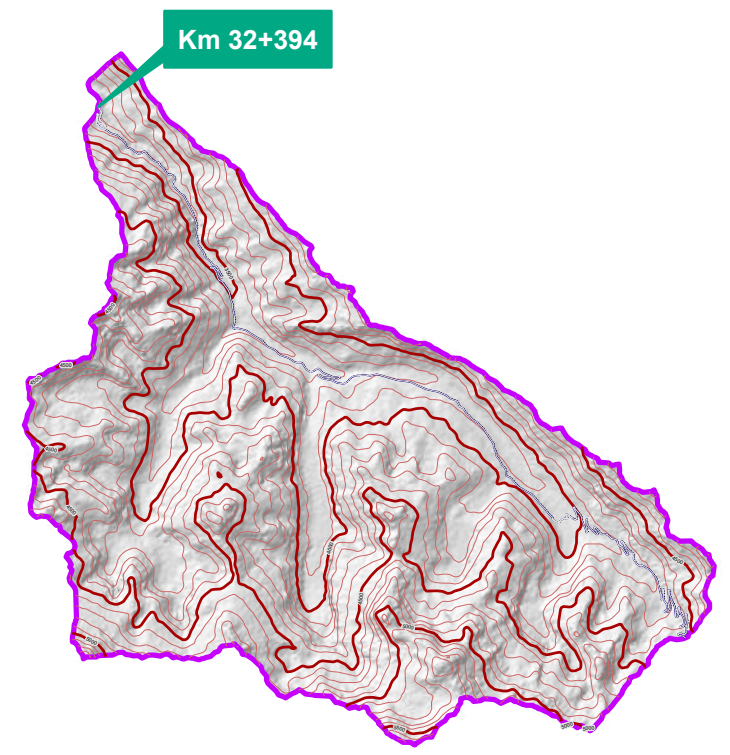
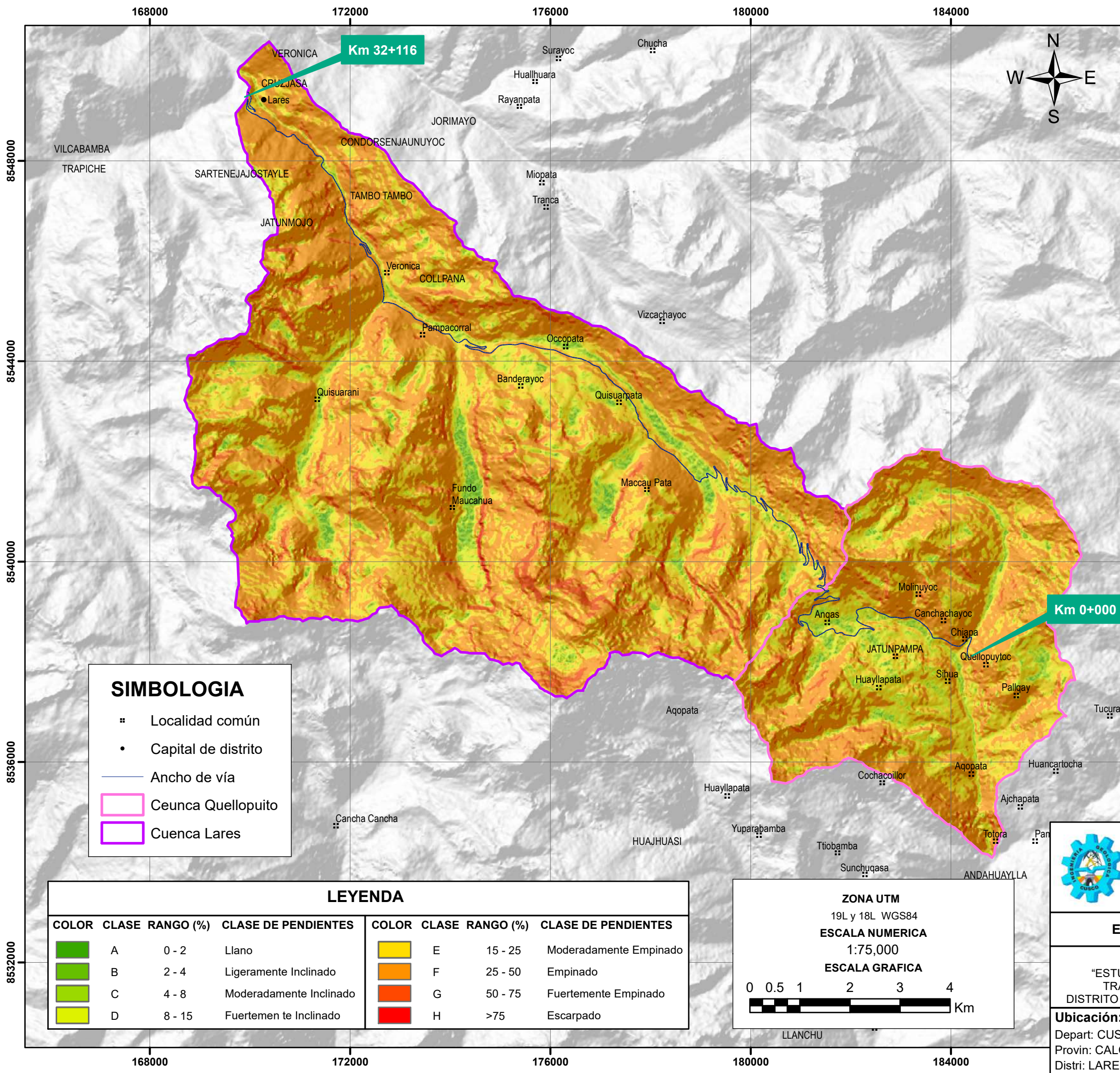
ESCALA NUMERICA
1:75,000

ESCALA GRAFICA

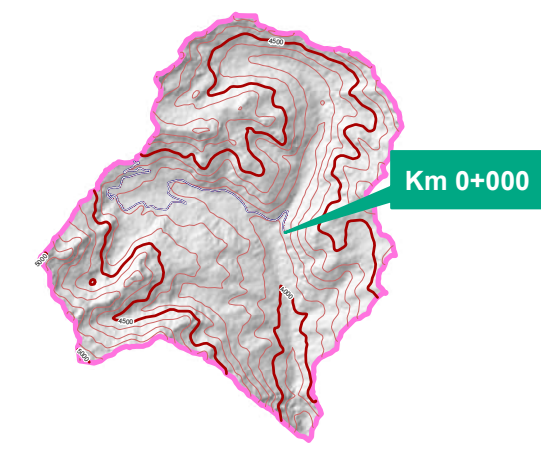
0 0.75 1.5 3 4.5 6 Km



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p> <p>FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA</p>		
<p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</p>		
<p>Título de la tesis:</p> <p>“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”</p>		
<p>Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES</p>	<p>Plano: MAPA TOPOGRAFICO</p> <p>Fecha: MAYO 2023</p>	<p>Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL</p>
		M-02



Cuenca Lares



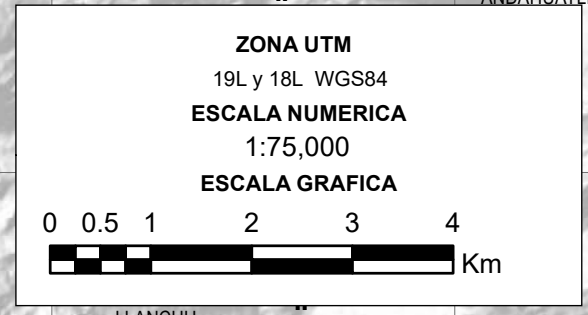
Cuenca Quellopuito

SIMBOLOGIA

- ⊞ Localidad común
- Capital de distrito
- Ancho de vía
- Cuenca Quellopuito
- Cuenca Lares

LEYENDA

COLOR	CLASE	RANGO (%)	CLASE DE PENDIENTES	COLOR	CLASE	RANGO (%)	CLASE DE PENDIENTES
	A	0 - 2	Llano		E	15 - 25	Moderadamente Empinado
	B	2 - 4	Ligeramente Inclinado		F	25 - 50	Empinado
	C	4 - 8	Moderadamente Inclinado		G	50 - 75	Fuertemente Empinado
	D	8 - 15	Fuertemente Inclinado		H	>75	Escarpado



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**

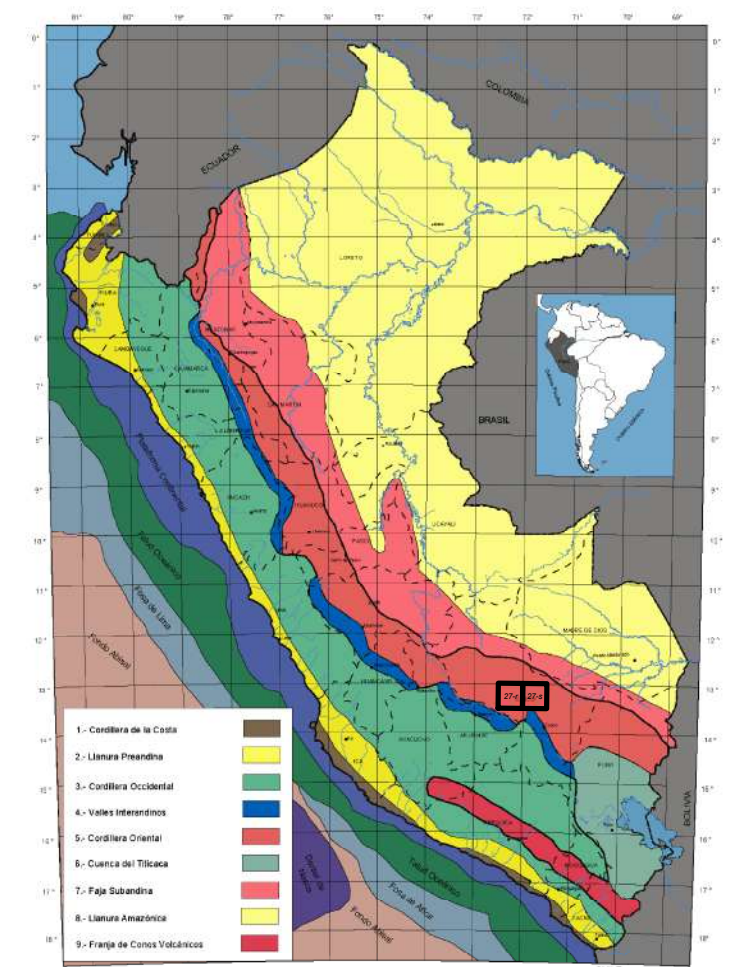
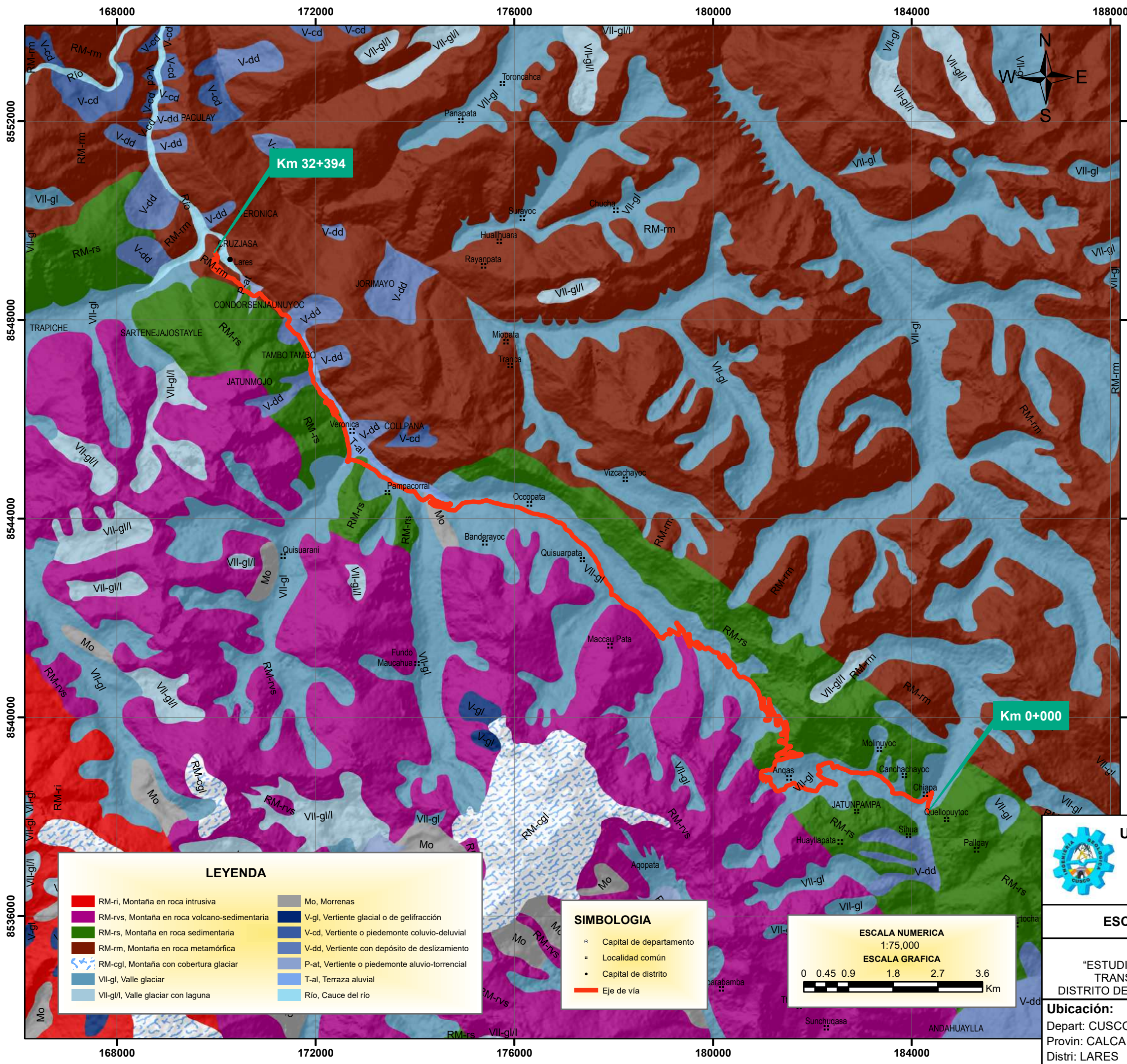
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

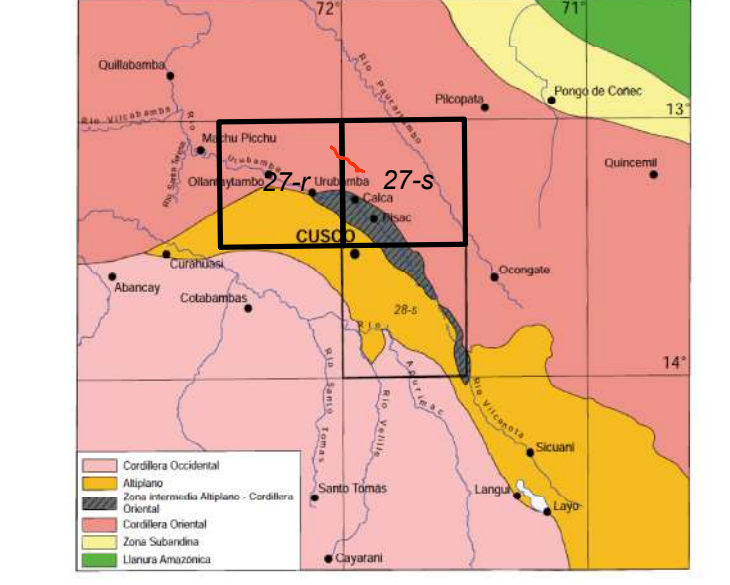
“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES,
DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA DE PENDIENTES	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1/75000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL
--	-------------------------------------	-------------------------------	---------------------------	---

M-03



Unidades morfo-estructurales del Perú



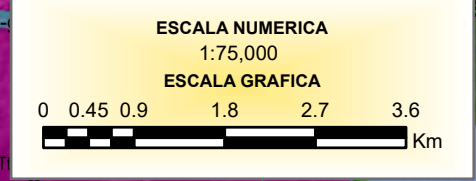
Unidades geomorfológicas regionales

LEYENDA

RM-ri, Montaña en roca intrusiva	Mo, Morrenas
RM-rvs, Montaña en roca volcánico-sedimentaria	V-gi, Vertiente glacial o de gelifracción
RM-rs, Montaña en roca sedimentaria	V-cd, Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial
RM-rm, Montaña en roca metamórfica	V-dd, Vertiente con depósito de deslizamiento
RM-cgl, Montaña con cobertura glaciar	P-at, Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
VII-gi, Valle glaciar	T-al, Terraza aluvial
VII-gi/l, Valle glaciar con laguna	Río, Cauce del río

SIMBOLOGIA

○	Capital de departamento
⊕	Localidad común
●	Capital de distrito
—	Eje de vía





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**

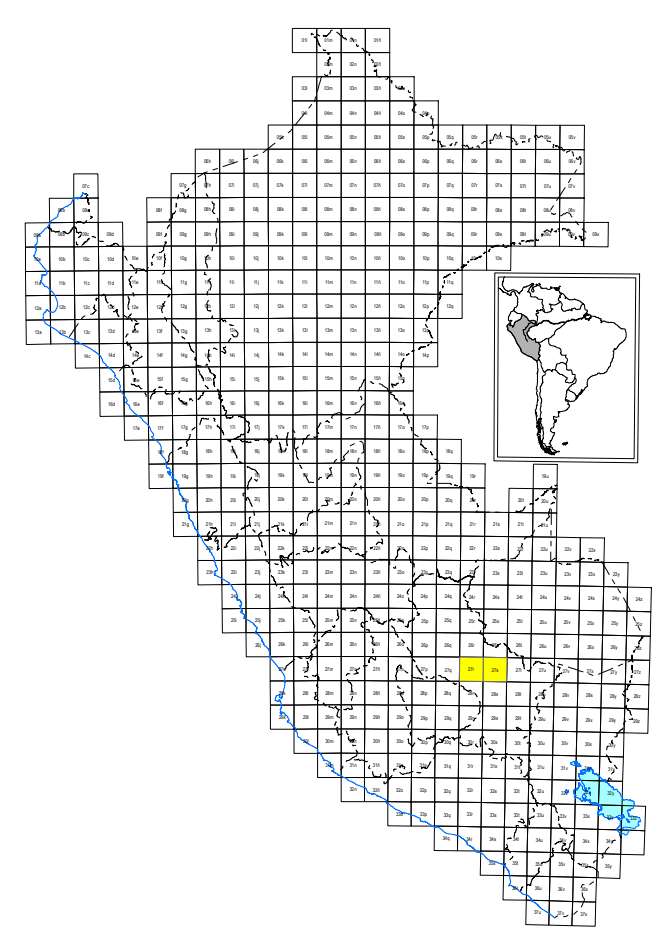
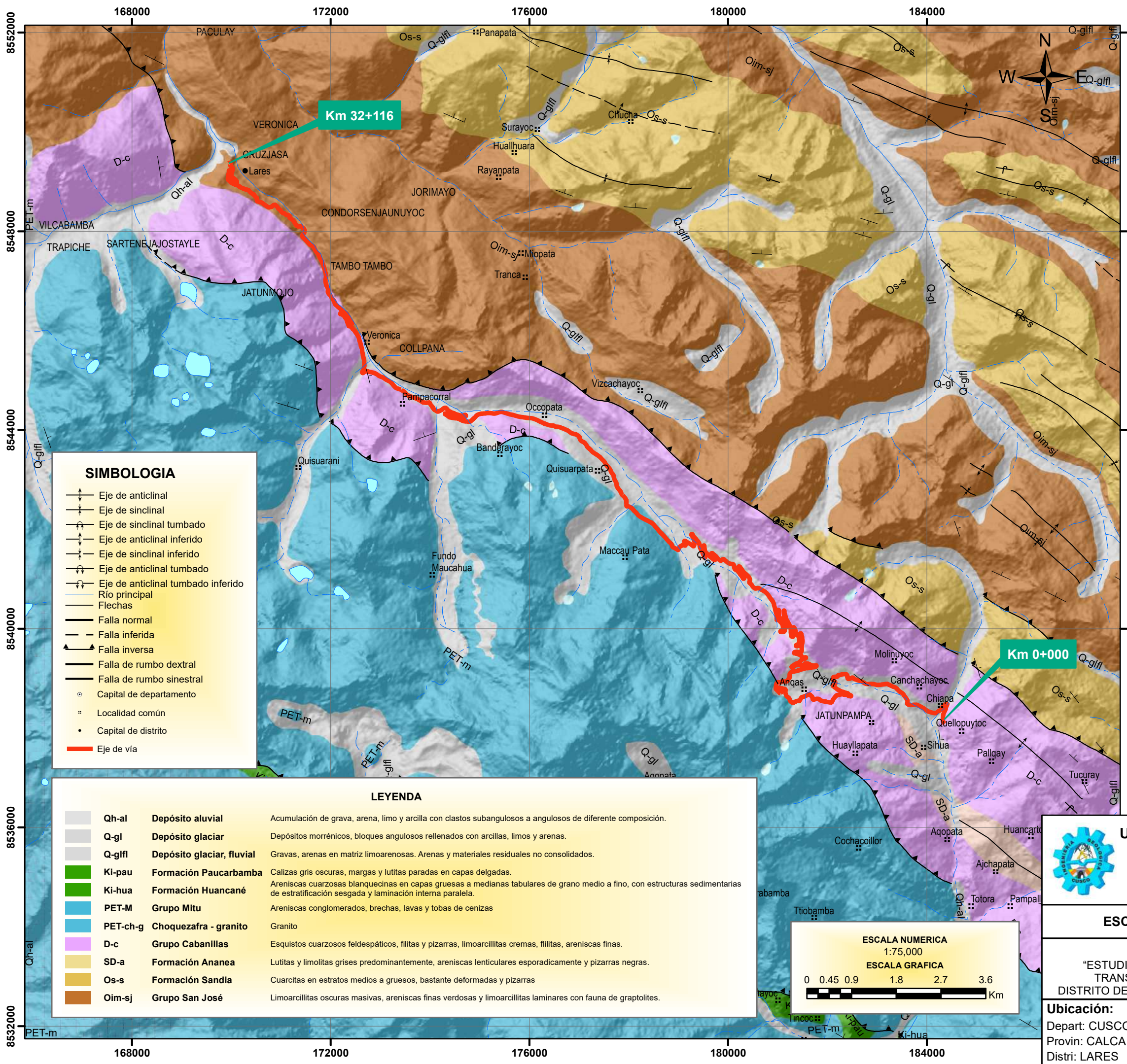


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES,
DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA GEOMORFOLOGICO REGIONAL	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1/75000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL	M-03
--	--	-------------------------	------------------------	---	-------------

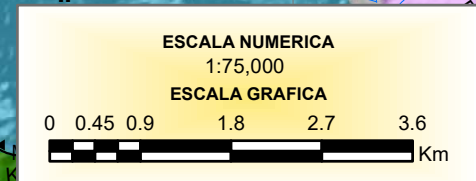


SIMBOLOGIA

- Eje de anticlinal
- Eje de sinclinal
- Eje de sinclinal tumbado
- Eje de anticlinal inferido
- Eje de sinclinal inferido
- Eje de anticlinal tumbado
- Eje de anticlinal tumbado inferido
- Río principal
- Flechas
- Falla normal
- Falla inferida
- Falla inversa
- Falla de rumbo dextral
- Falla de rumbo sinistral
- Capital de departamento
- Localidad común
- Capital de distrito
- Eje de vía

LEYENDA

	Qh-al	Depósito aluvial	Acumulación de grava, arena, limo y arcilla con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.
	Q-gl	Depósito glaciar	Depósitos morrénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas.
	Q-glfl	Depósito glaciar, fluvial	Gravas, arenas en matriz limoarenosas. Arenas y materiales residuales no consolidados.
	Ki-pau	Formación Paucarbamba	Calizas gris oscuras, margas y lutitas paradas en capas delgadas.
	Ki-hua	Formación Huancané	Areniscas cuarzosas blanquecinas en capas gruesas a medianas tabulares de grano medio a fino, con estructuras sedimentarias de estratificación sesgada y laminación interna paralela.
	PET-M	Grupo Mitu	Areniscas conglomerados, brechas, lavas y tobas de cenizas
	PET-ch-g	Choquezafra - granito	Granito
	D-c	Grupo Cabanillas	Esquistos cuarzosos feldespáticos, filitas y pizarras, limoarcillitas cremas, filitas, areniscas finas.
	SD-a	Formación Ananea	Lutitas y limolitas grises predominantemente, areniscas lenticulares esporádicamente y pizarras negras.
	Os-s	Formación Sandía	Cuarzitas en estratos medios a gruesos, bastante deformadas y pizarras
	Oim-sj	Grupo San José	Limoarcillitas oscuras masivas, areniscas finas verdosas y limoarcillitas laminares con fauna de graptolites.



Quillabamba 26q (2345)	Qda. Honda 26r (2445)	Porobamba 26s (2545)	Pilcopata 26t (2645)
Machupichu 27q (2344)	Urubamba 27r (2444)	Calca 27s (2544)	Chontachaca 27t (2644)
Abancay 28q (2343)	Tambobamba 28r (2443)	Cusco 28s (2543)	Ocongate 28t (2643)

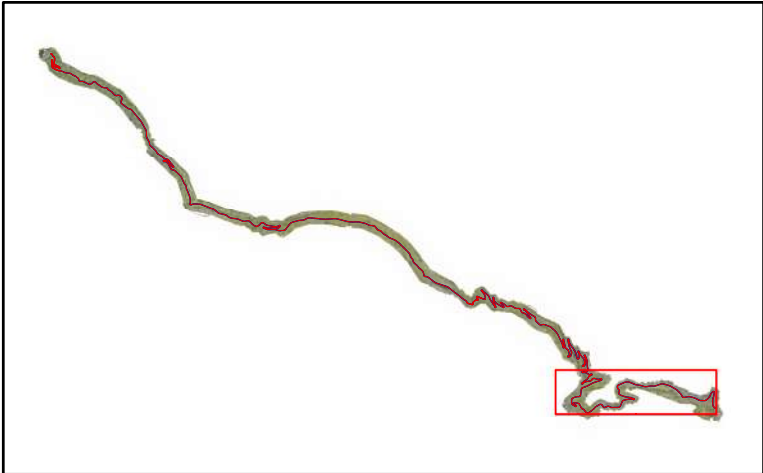
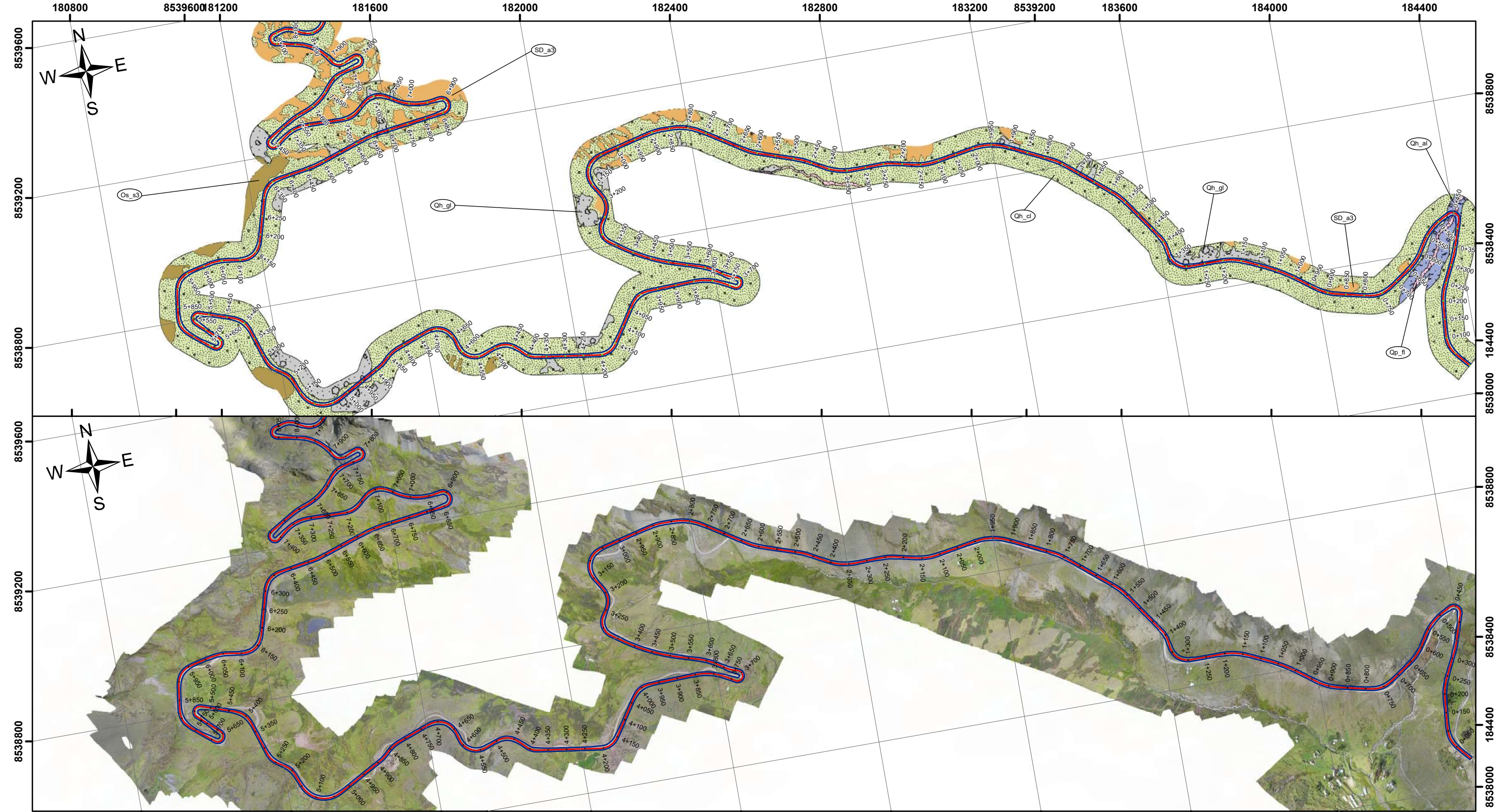
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**
**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

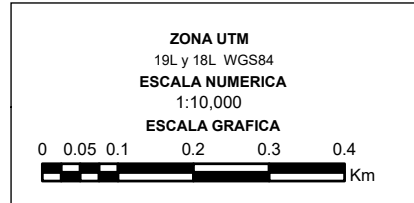
"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA GEOLOGICO REGIONAL	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1/75000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL	M-04
--	--	-------------------------------	---------------------------	---	-------------



LEYENDA

	Deposito Morrenico	Qp-gi	Gravas arcillosas con presencia de bloques de diferentes tamaños. Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimórficas en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los ríos y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
	Depósito Aluvial	Qh-al	Bloques eterométricos englobados en una matriz arenosa, producto de la erosión de laderas.
	Depósito Coluvial	Qh-cl	Bancos de gravas y arenas
	Depósito Fluvial	Qp-fl	Pizarras gris oscuras a negras, con estratificación difusa y esquistocidad prominente
	Formación Ananea	SD-a3	Estratos delgados de areniscas gris oscuras, con laminaciones horizontales intercaladas con escasos niveles de pizarras negras hacia la base; seguidas de potentes niveles de areniscas grises con laminaciones horizontales y onduladas de areniscas cuarzosas blanco amarillentas.
	Formación Sandia	Os-s3	



SIMBOLOGIA

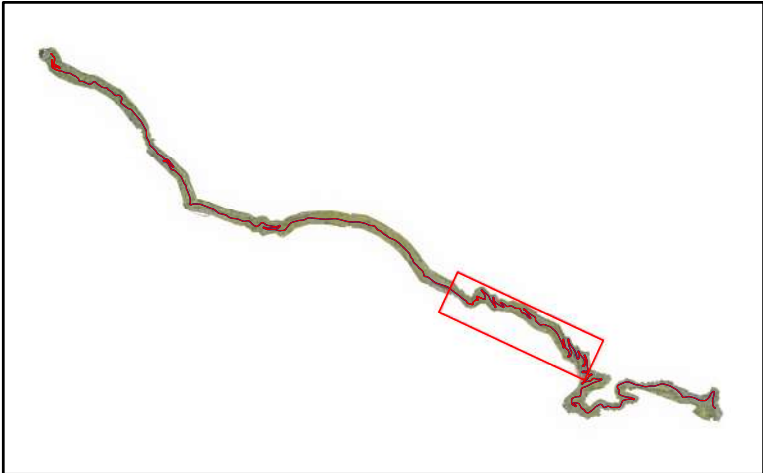
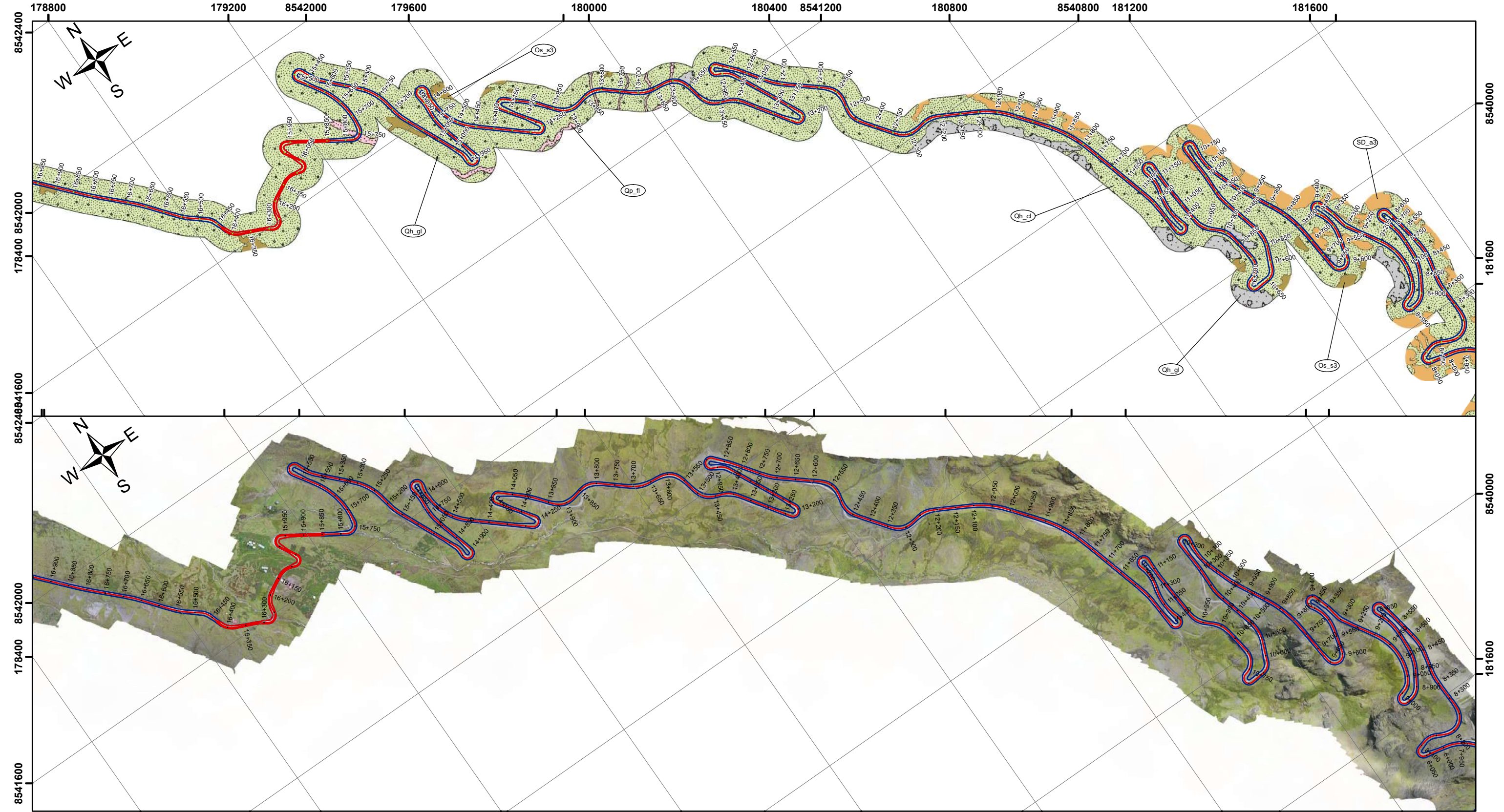
	Progresivas
	Eje de vía
	Ancho de vía

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO
FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

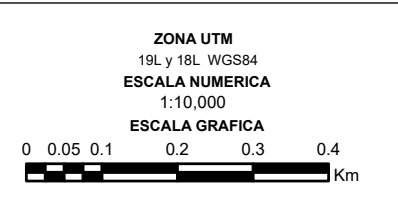
Título de la tesis:
“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL 1 (0km - 7km)	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1:10,000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL	M-05-01
--	--	-------------------------------	----------------------------	---	----------------



LEYENDA

	Deposito Morrenico	Qp-gl	Gravas arcillosas con presencia de bloques de diferentes tamaños. Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimicticas en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los rios y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
	Depósito Aluvial	Qh-al	Bloques eterométricos englobados en una matriz arenosa, producto de la erosión de laderas.
	Depósito Coluvial	Qh-cl	Bancos de gravas y arenas
	Depósito Fluvial	Qp-fl	Pizarras gris oscuras a negras, con estratificación difusa y esquistocidad prominente
	Formación Ananea	SD-a3	Estratos delgados de areniscas gris oscuras, con laminaciones horizontales intercaladas con escasos niveles de pizarras negras hacia la base; seguidas de potentes niveles de areniscas grises con laminaciones horizontales y onduladas de areniscas cuarzosas blanco amarillentas.
	Formación Sandia	Os-s3	



SIMBOLOGIA

	Progresivas
	Eje de vía
	Ancho de vía



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO
FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA

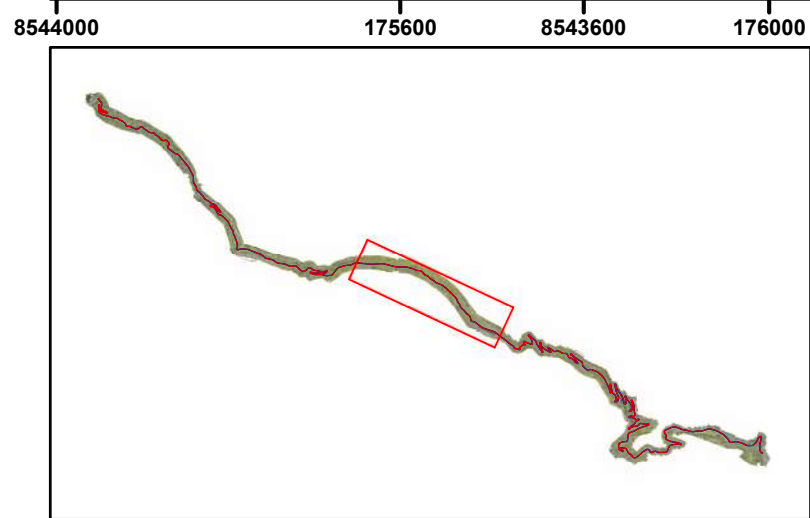
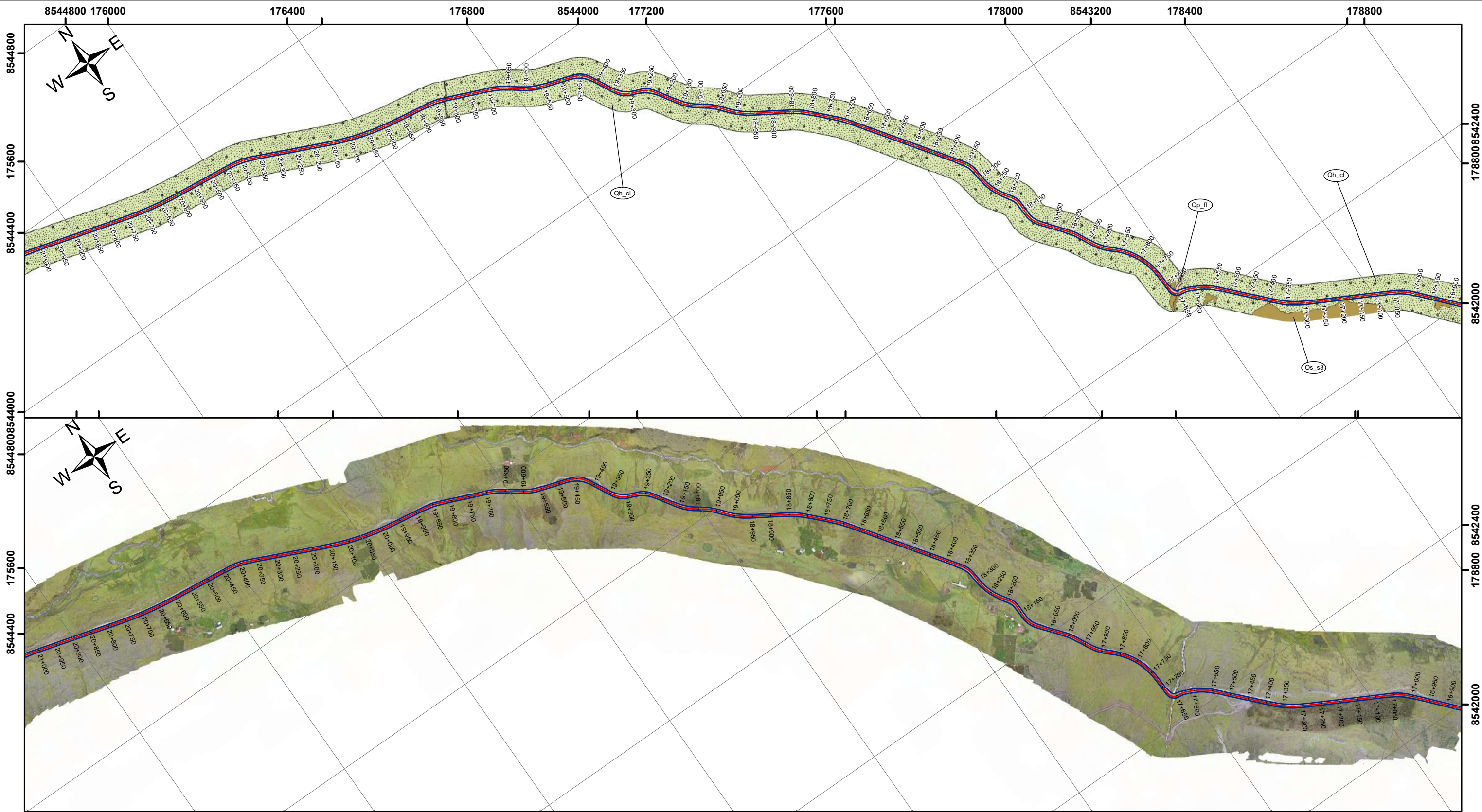


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:
“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

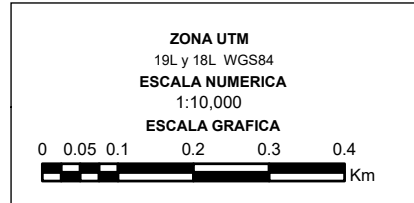
Ubicación:	Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL 2 (8km - 17km)		
Depart: CUSCO	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1:10,000	Presentado por:
Provin: CALCA			Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
Distri: LARES			Bach.: TTITO PUMAABEL

M-05-02



LEYENDA

	Deposito Morrenico	Qp-gl	Gravas arcillosas con presencia de bloques de diferentes tamaños. Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimórficas en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los ríos y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
	Depósito Aluvial	Qh-al	Bloques eterométricos englobados en una matriz arenosa, producto de la erosión de laderas.
	Depósito Coluvial	Qh-cl	Bancos de gravas y arenas
	Depósito Fluvial	Qp-fl	Pizarras gris oscuras a negras, con estratificación difusa y esquistocidad prominente
	Formación Ananea	SD-a3	Estratos delgados de areniscas gris oscuras, con laminaciones horizontales intercaladas con escasos niveles de pizarras negras hacia la base; seguidas de potentes niveles de areniscas grises con laminaciones horizontales y onduladas de areniscas cuarzosas blanco amarillentas.
	Formación Sandia	Os-s3	



SIMBOLOGIA

	Progresivas
	Eje de vía
	Ancho de vía



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**



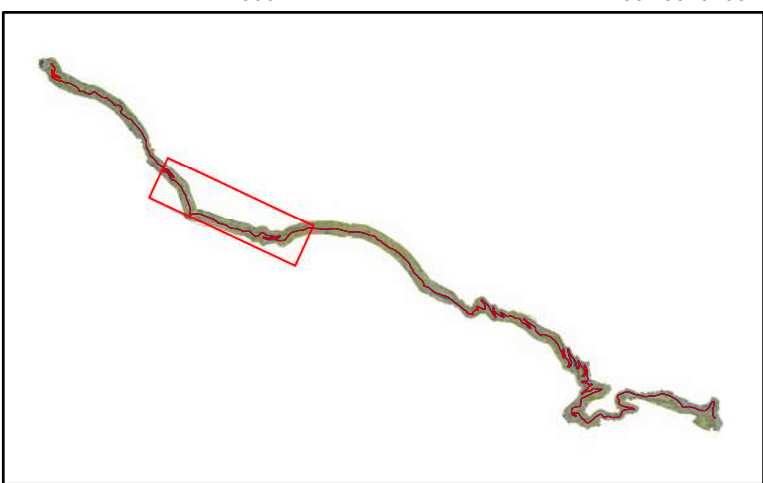
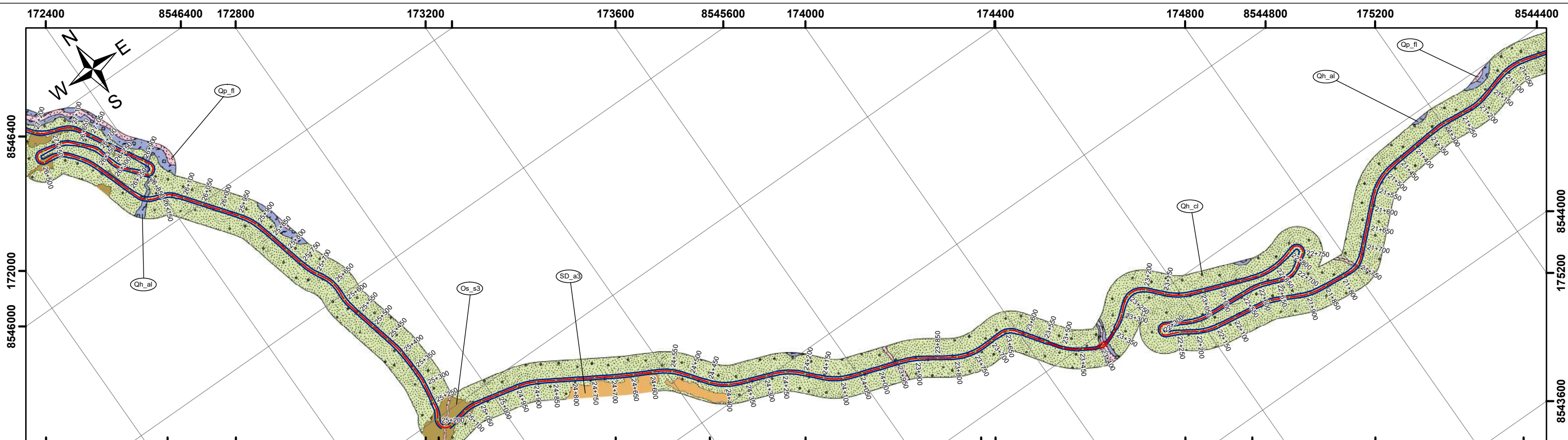
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

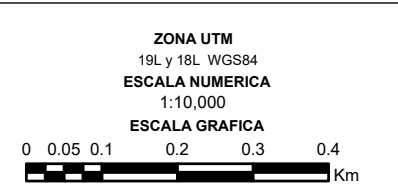
Ubicación:	Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL 3 (17km - 21km)		
Depart: CUSCO	Fecha:	Escala:	Presentado por:
Provin: CALCA	MAYO	1:10,000	Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
Distri: LARES	2023		Bach.: TTITO PUMAABEL

M-05-03



LEYENDA

	Deposito Morrenico	Qp-gl	Gravas arcillosas con presencia de bloques de diferentes tamaños. Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimícticas en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los ríos y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
	Depósito Aluvial	Qh-al	Bloques eotométricos englobados en una matriz arenosa, producto de la erosión de laderas.
	Depósito Coluvial	Qh-cl	Bancos de gravas y arenas
	Depósito Fluvial	Qp-fl	Pizarras gris oscuras a negras, con estratificación difusa y esquistocidad prominente
	Formación Ananea	SD-a3	Estratos delgados de areniscas gris oscuras, con laminaciones horizontales intercaladas con escasos niveles de pizarras negras hacia la base; seguidas de potentes niveles de areniscas grises con laminaciones horizontales y onduladas de areniscas cuarzosas blanco amarillentas.
	Formación Sandia	Os-s3	



SIMBOLOGIA

	Progresivas
	Eje de vía
	Ancho de vía



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO

FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA

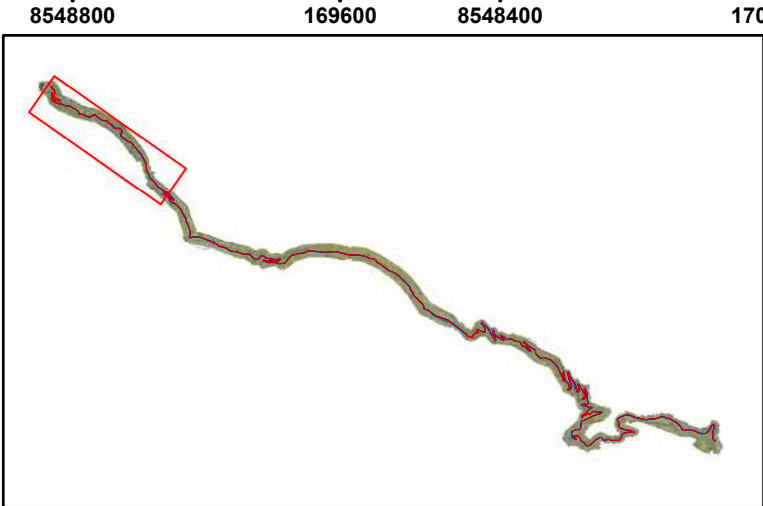
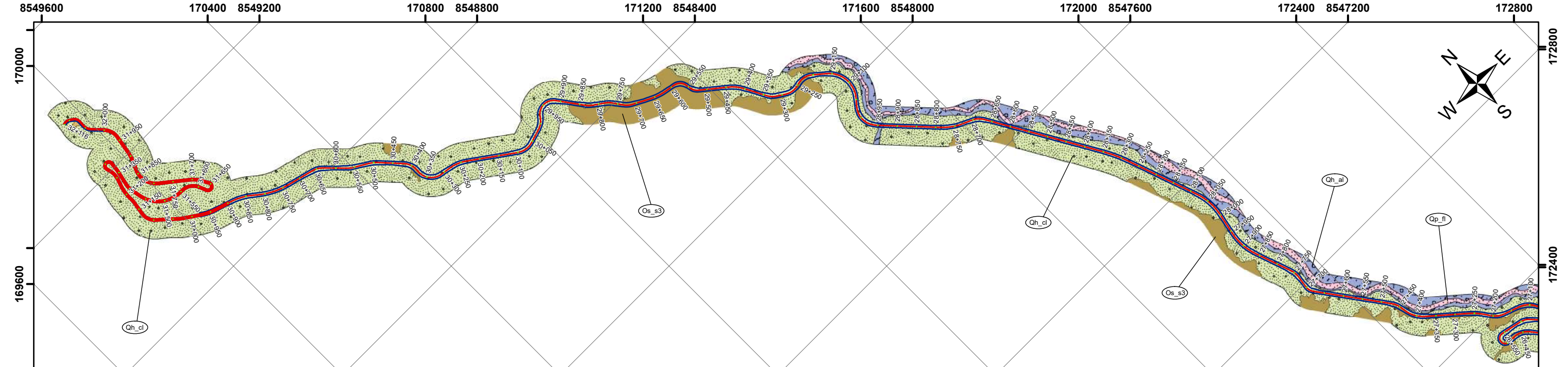


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

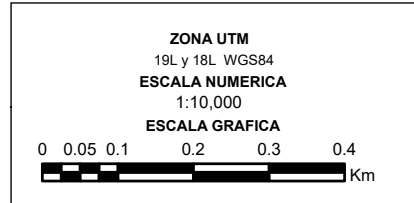
“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL 4 (21km - 27km)	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1:10,000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL	M-05-04
--	--	-------------------------------	----------------------------	---	----------------



LEYENDA

	Deposito Morrenico	Qp-gl	Gravas arcillosas con presencia de bloques de diferentes tamaños. Cantos, bloques, grava y arenas subredondeadas polimórficas en una matriz limoarcillosa formando terrazas en los flancos de los ríos y conos de deyección, formando terrazas y abanicos aluviales
	Depósito Aluvial	Qh-al	Bloques eterométricos englobados en una matriz arenosa, producto de la erosión de laderas.
	Depósito Coluvial	Qh-cl	Bancos de gravas y arenas
	Depósito Fluvial	Qp-fl	Pizarras gris oscuras a negras, con estratificación difusa y esquistocidad prominente
	Formación Ananea	SD-a3	Estratos delgados de areniscas gris oscuras, con laminaciones horizontales intercaladas con escasos niveles de pizarras negras hacia la base; seguidas de potentes niveles de areniscas grises con laminaciones horizontales y onduladas de areniscas cuarzosas blanco amarillentas.
	Formación Sandia	Os-s3	



SIMBOLOGIA

	Progresivas
	Eje de vía
	Ancho de vía



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**



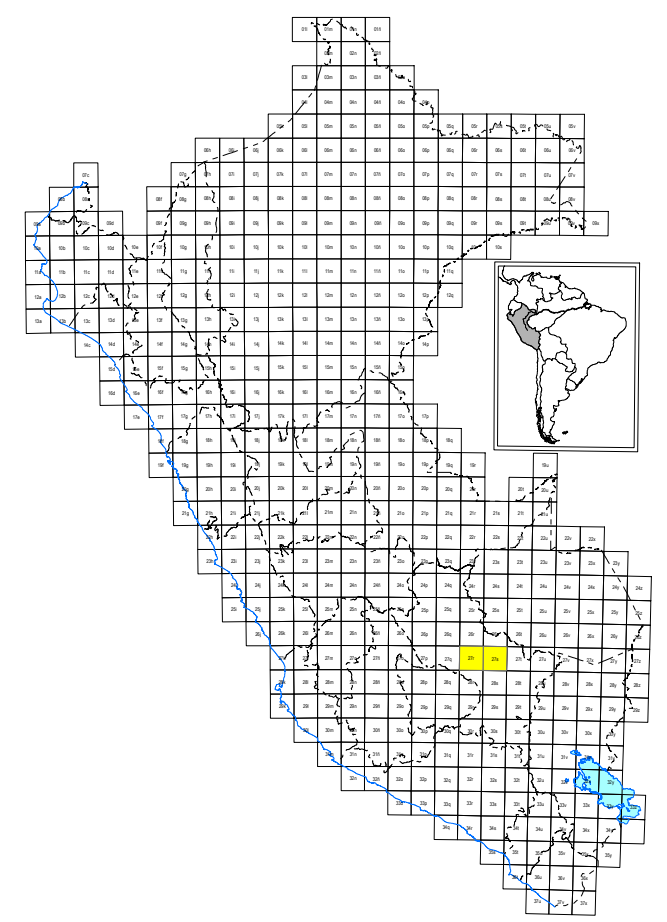
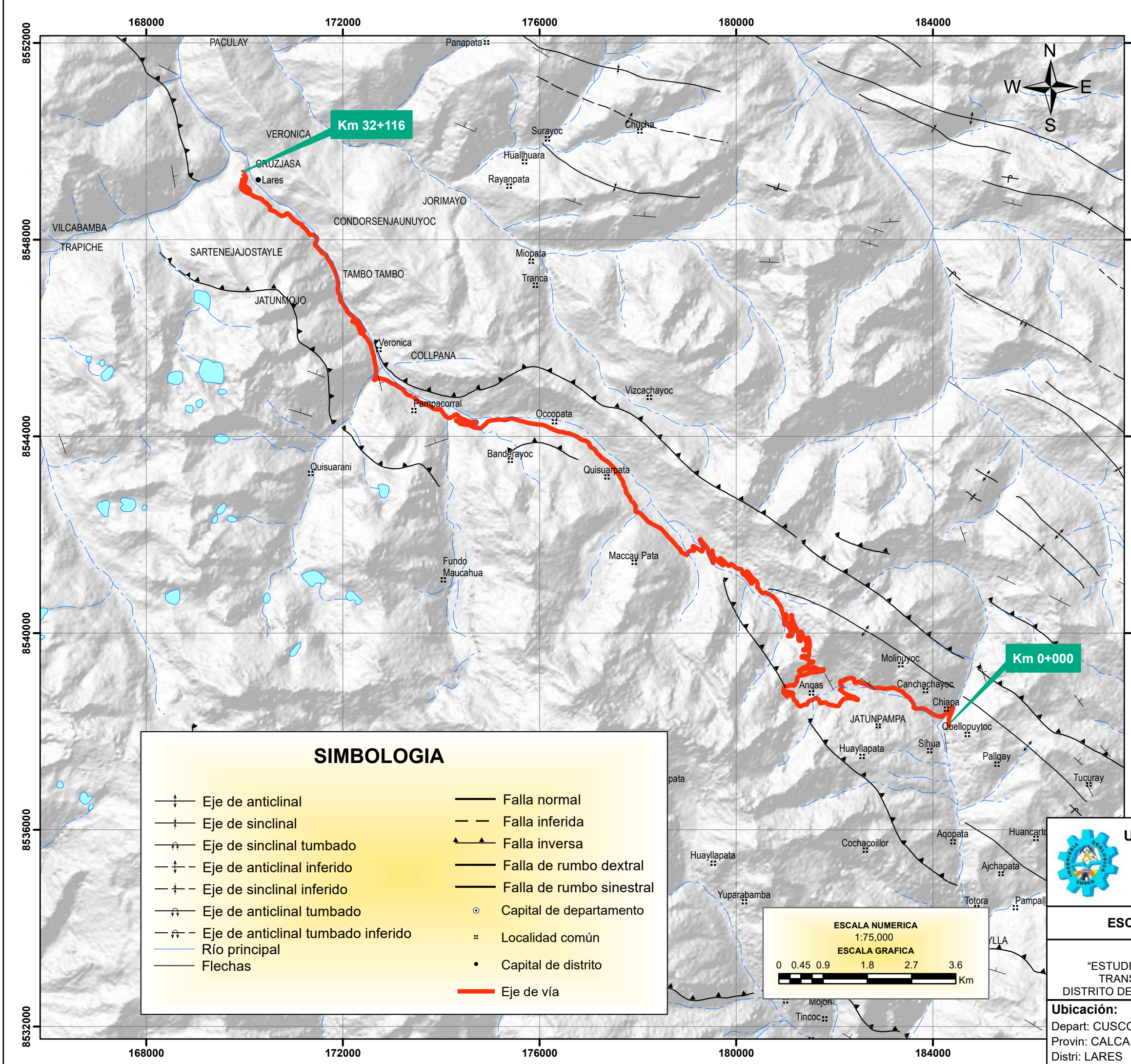
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

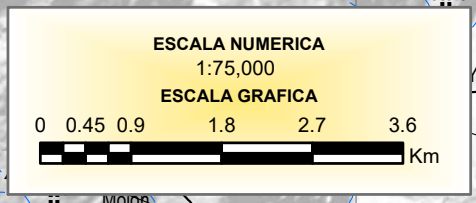
Ubicación:	Plano: MAPA GEOLOGICO LOCAL 5 (27km - 33km)		
Depart: CUSCO	Fecha:	Escala:	Presentado por:
Provin: CALCA	MAYO 2023	1:10,000	Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
Distri: LARES			Bach.: TTITO PUMAABEL

M-05-05



SIMBOLOGIA

	Eje de anticlinal		Falla normal
	Eje de sinclinal		Falla inferida
	Eje de sinclinal tumbado		Falla inversa
	Eje de anticlinal inferido		Falla de rumbo dextral
	Eje de sinclinal inferido		Falla de rumbo sinistral
	Eje de anticlinal tumbado		Capital de departamento
	Eje de anticlinal tumbado inferido		Localidad común
	Río principal		Capital de distrito
	Flechas		Eje de vía



Quillabamba 26q (2345)	Qda. Honda 26r (2445)	Porobamba 26s (2545)	Pilcopata 26t (2645)
Machupichu 27q (2344)	Urubamba 27r (2444)	Calca 27s (2544)	Chontachaca 27t (2644)
Abancay 28q (2343)	Tambobamba 28r (2443)	Cusco 28s (2543)	Ocongate 28t (2643)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**



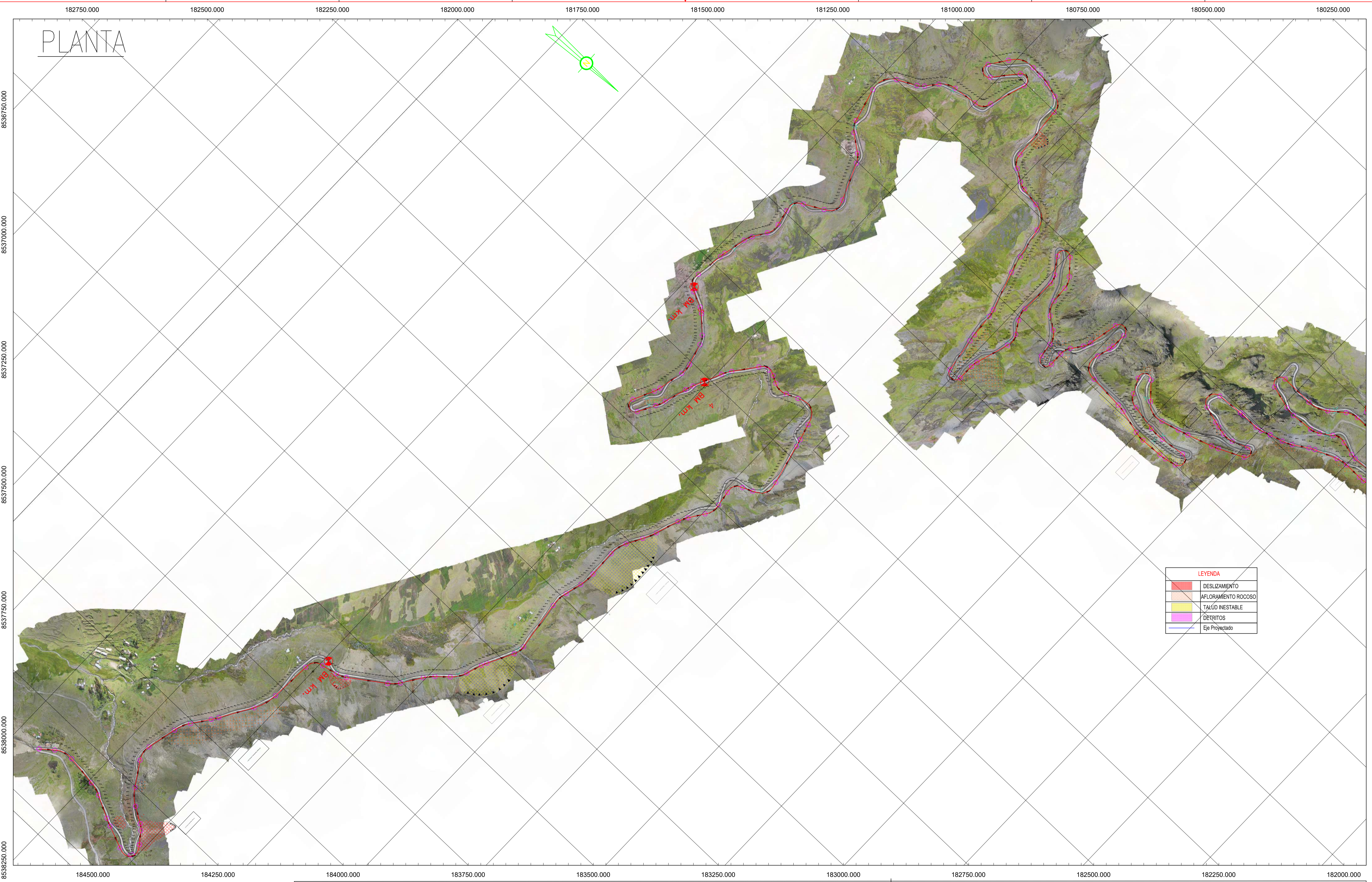
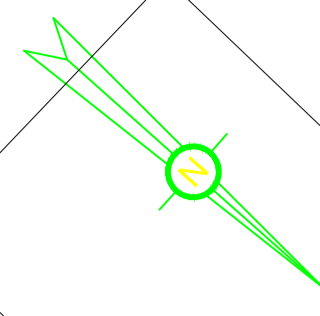
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

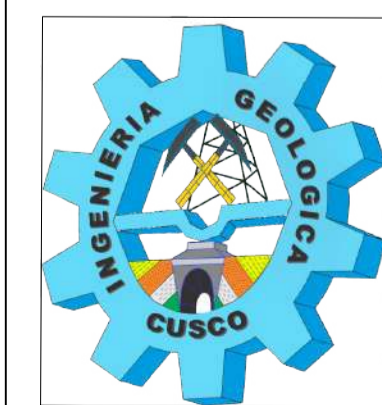
“ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES,
DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023”

Ubicación: Depart: CUSCO Provin: CALCA Distri: LARES	Plano: MAPA GEOESTRUCTURAL REGIONAL	Fecha: MAYO 2023	Escala: 1/75000	Presentado por: Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT Bach.: TTITO PUMAABEL	M-06
--	--	-------------------------	------------------------	---	-------------

PLANTA



LEYENDA	
	DESLIZAMIENTO
	AFLORAMIENTO ROCOSO
	TALUD INESTABLE
	DETRITOS
	Eje Projectado



DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CALCA
 DISTRITO : LARES

"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUTO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

PRESENTADO POR:
 Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
 Bach.: TITTO PUMA ABEL

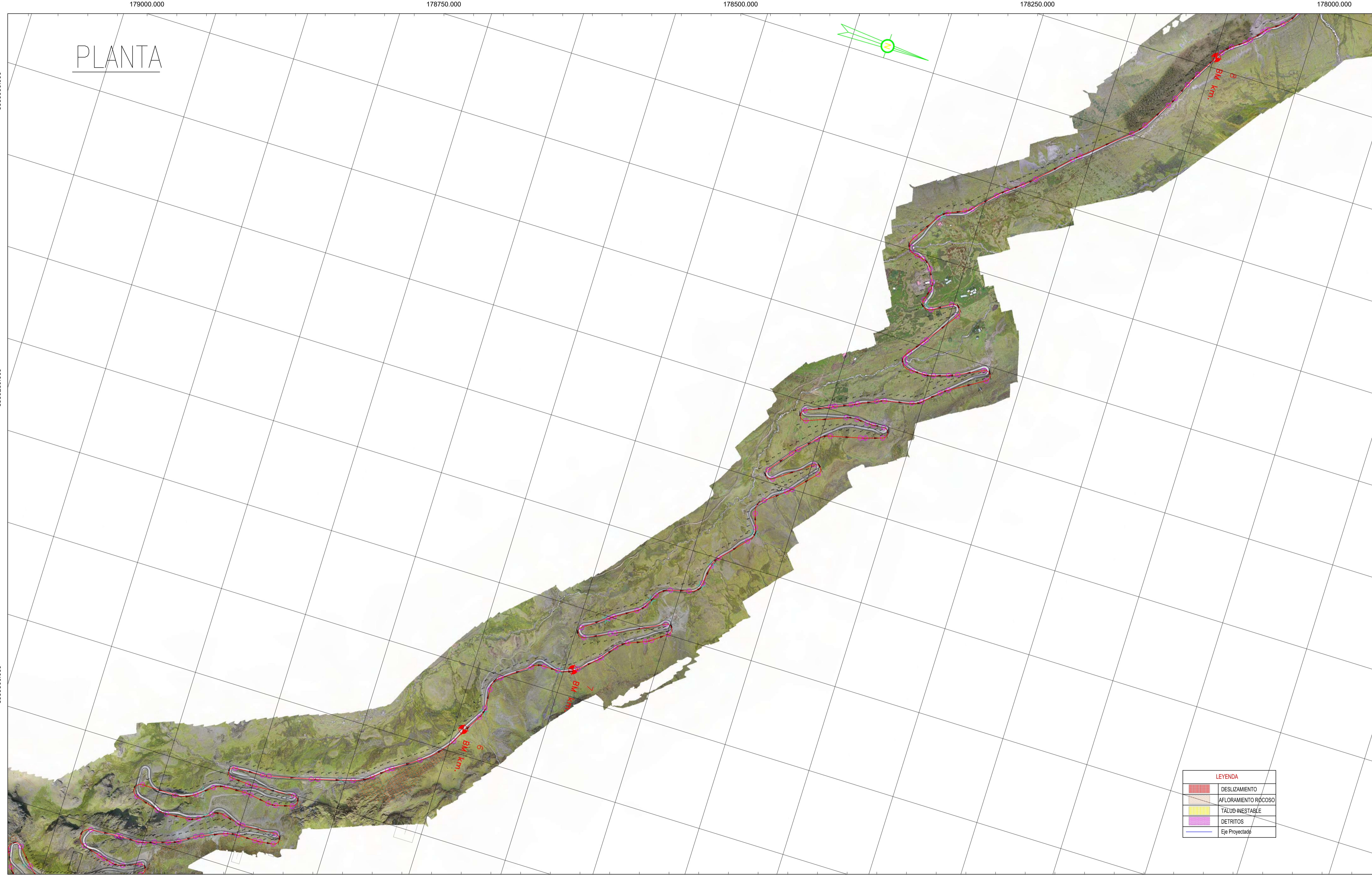
UTM 19 S
 WGS 84
 2

PLANTA-PLANO GEODINAMICO
 KM 10+000-17+000
 INDICADAS AGOSTO - 2022

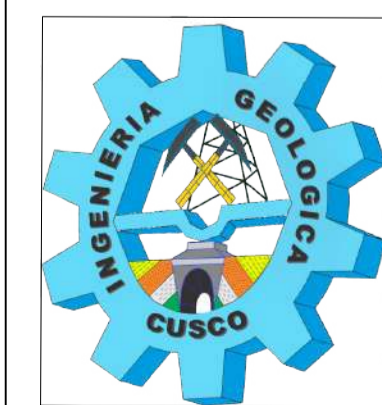
M09-02



PLANTA



LEYENDA	
	DESIZAMIENTO
	AFLORAMIENTO ROCOSO
	TALUD-INESTABLE
	DETRITOS
	Eje Propuesto



DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CALCA
 DISTRITO : LARES

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUTO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

PRESENTADO POR:
 Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
 Bach.: TITTO PUMA ABEL

UTM 19 S

WGS 84

2

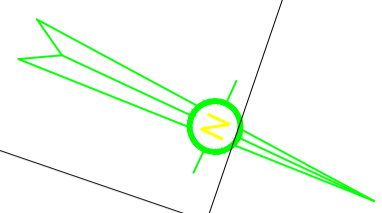
PLANTA-PLANO GEODINAMICO
 KM 10+000-17+000

INDICADAS AGOSTO - 2022

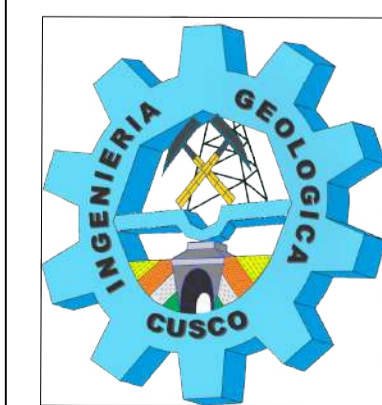
M09-02



PLANTA



LEYENDA	
	DESIZAMIENTO
	AFLORAMIENTO ROCOSO
	TALUD INESTABLE
	DÉTRITOS
	Eje Proyectado



DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CALCA
 DISTRITO : LARES

"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUTO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

PRESENTADO POR:
 Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
 Bach.: TITTO PUMA ABEL

UTM 19 S

WGS 84

2

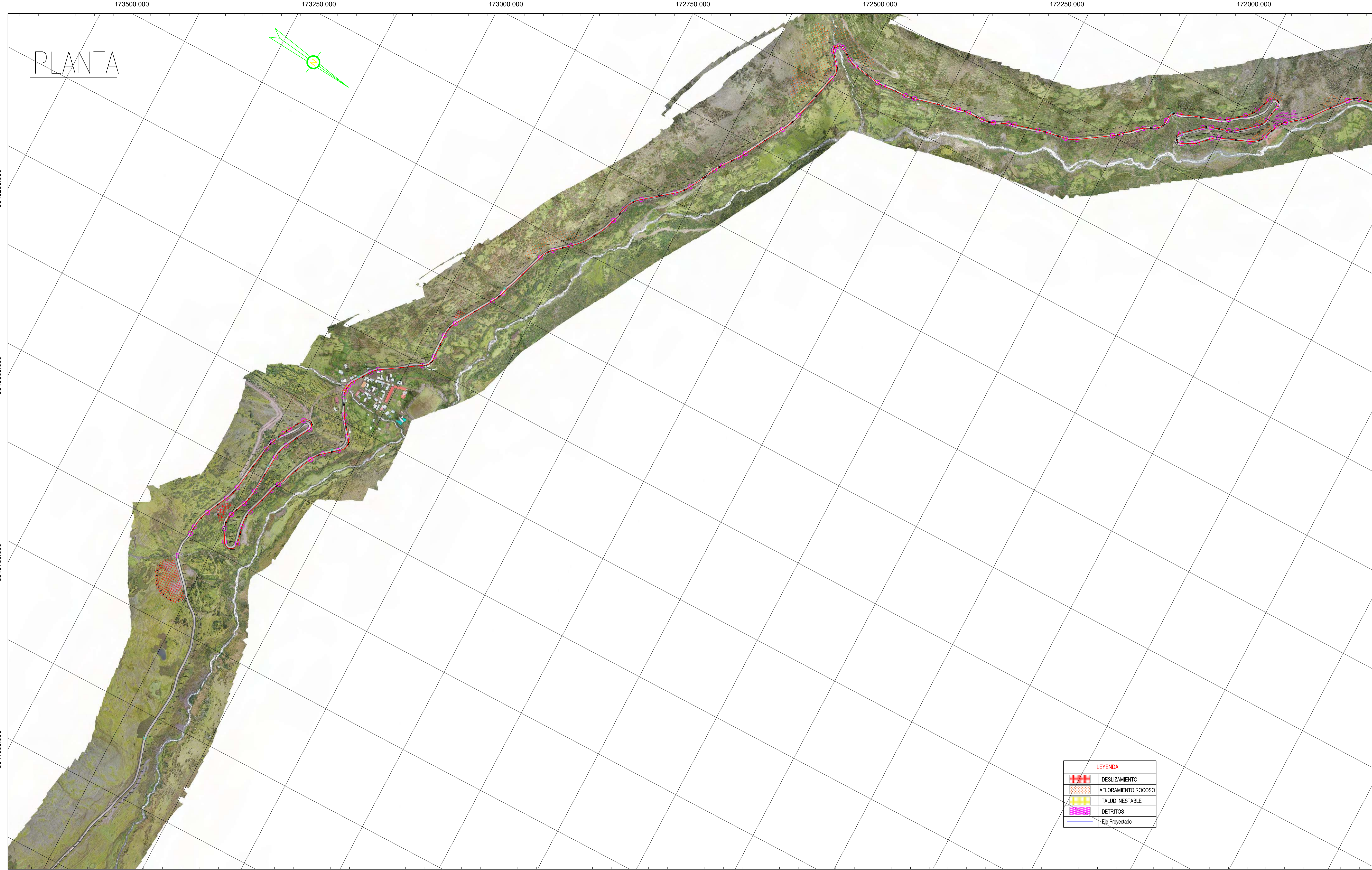
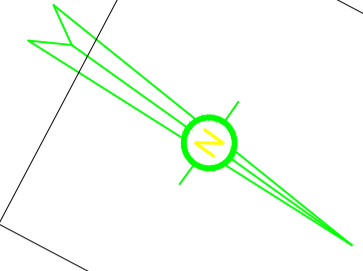
PLANTA-PLANO GEODINAMICO
 KM 10+000-17+000

INDICADAS AGOSTO - 2022

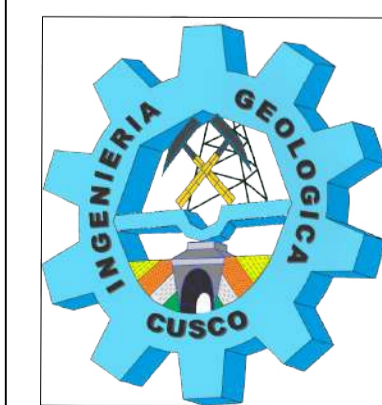
M09-02



PLANTA



LEYENDA	
	DESPLIZAMIENTO
	AFLORAMIENTO ROCOSO
	TALUD INESTABLE
	DETRITOS
	Eje Proyectado



DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CALCA
 DISTRITO : LARES

"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUTO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

PRESENTADO POR:
 Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
 Bach.: TITTO PUMA ABEL

UTM 19 S

WGS 84

2

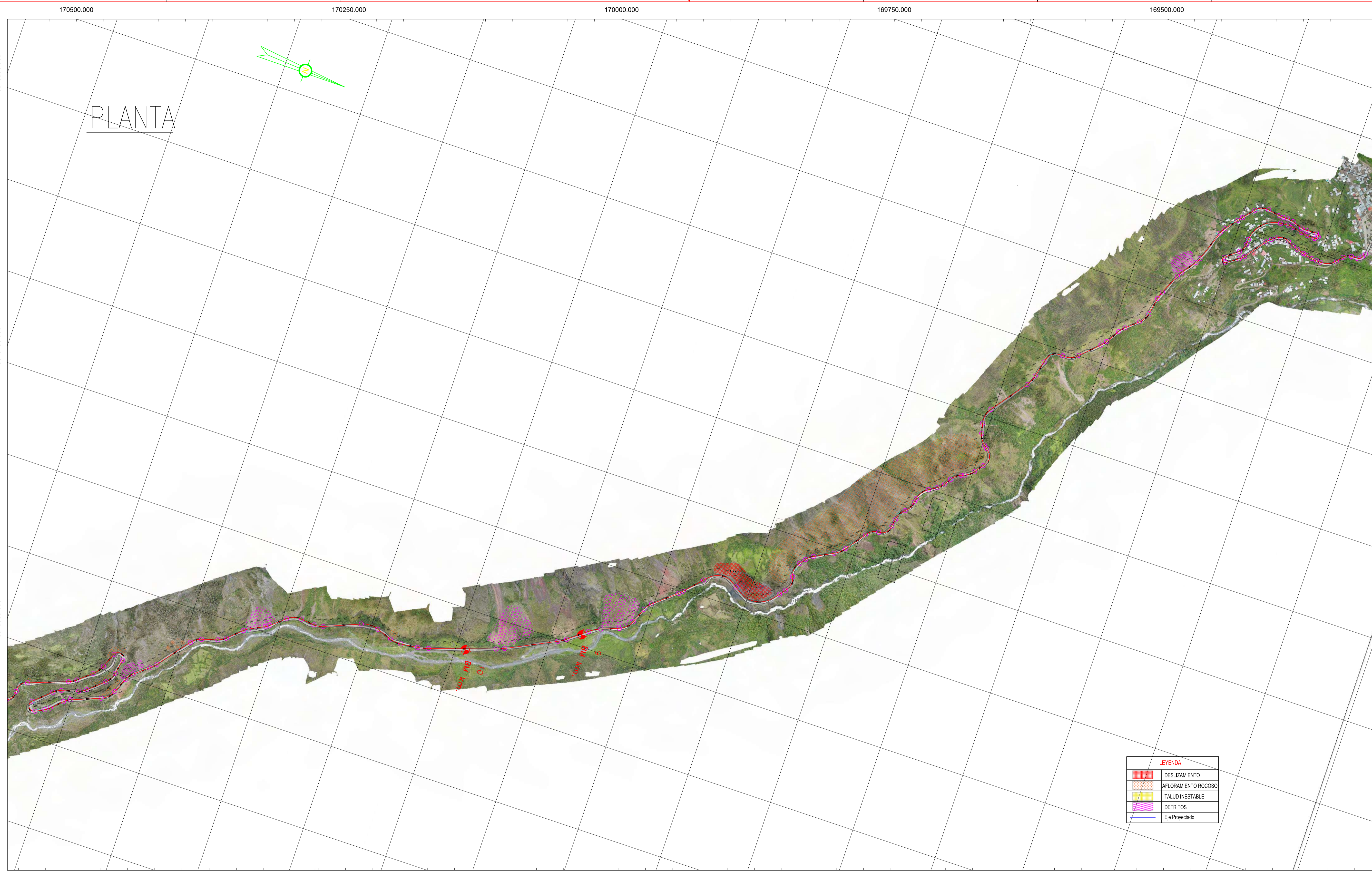
PLANTA-PLANO GEODINAMICO
 KM 10+000-17+000

INDICADAS
 AGOSTO - 2022

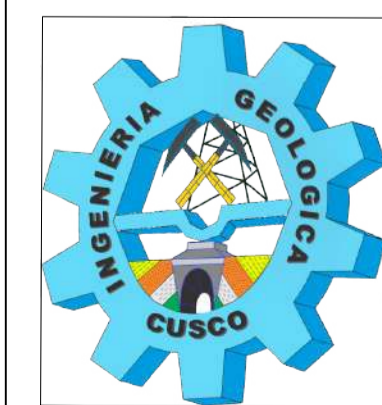
M09-02



PLANTA



LEYENDA	
	DESPLAZAMIENTO
	AFLORAMIENTO ROCOSO
	TALUD INESTABLE
	DETRITOS
	Eje Proyectado



DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CALCA
 DISTRITO : LARES

"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO - LARES, DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

PRESENTADO POR:
 Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
 Bach.: TITTO PUMA ABEL

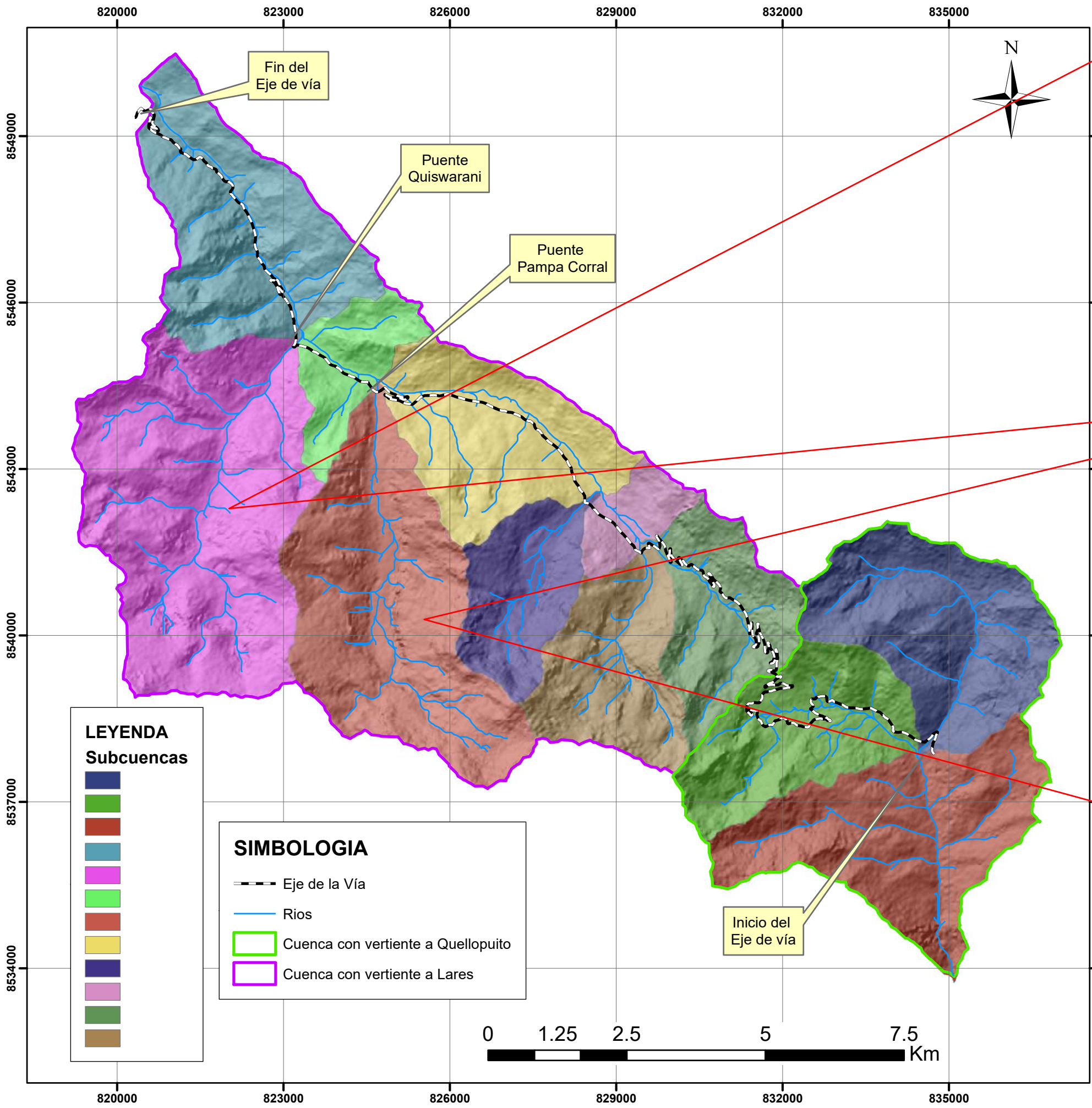
UTM 19 S
 WGS 84
 2

PLANTA-PLANO GEODINAMICO
 KM 10+000-17+000
 INDICADAS AGOSTO - 2022

M09-02



MAPA HIDROGRAFICO DE LA CARRETERA DE QUELLOPUITO -LARES

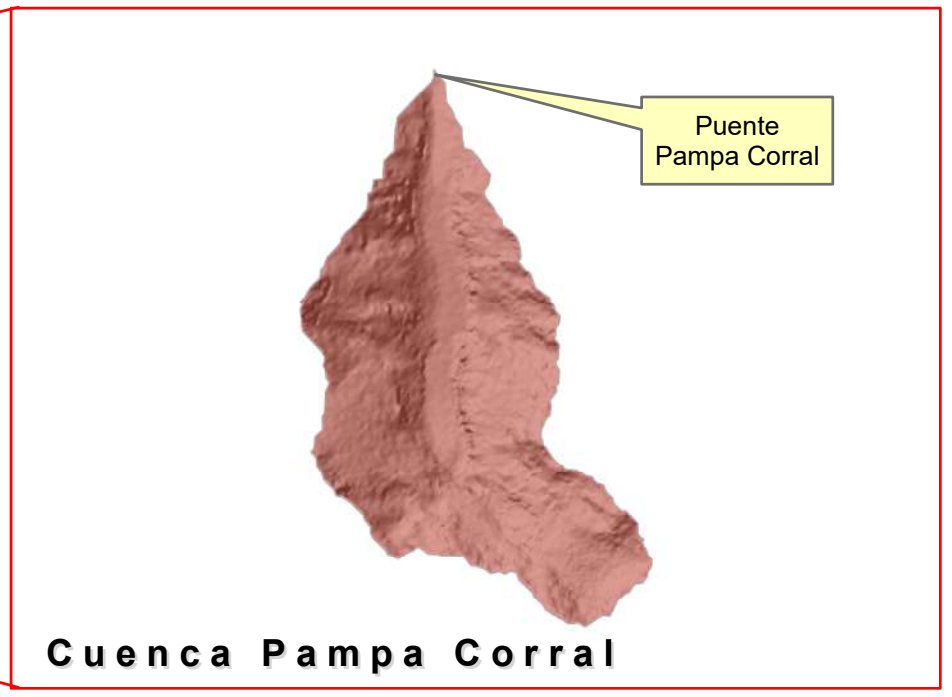
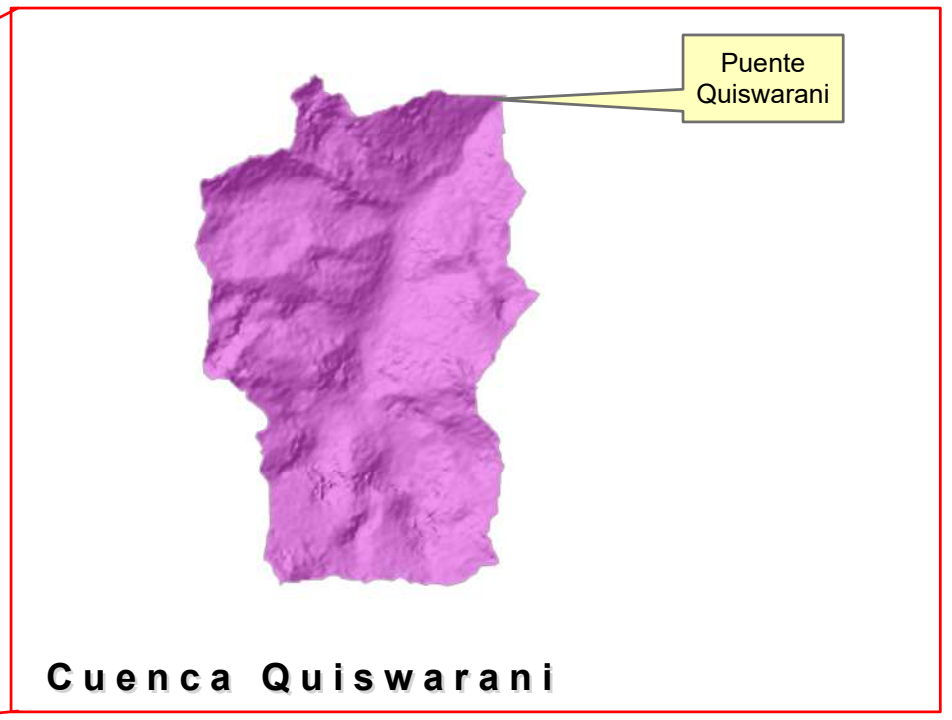
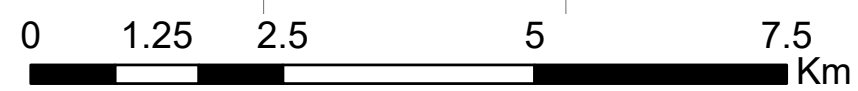


LEYENDA Subcuencas

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

SIMBOLOGIA

- Eje de la Vía
- Rios
- Cuenca con vertiente a Quellopuito
- Cuenca con vertiente a Lares





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA,
MINAS Y METALÚRGICA**



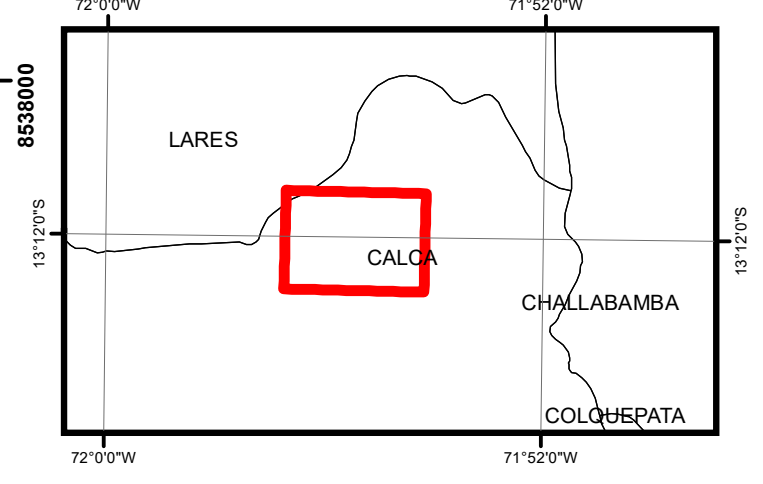
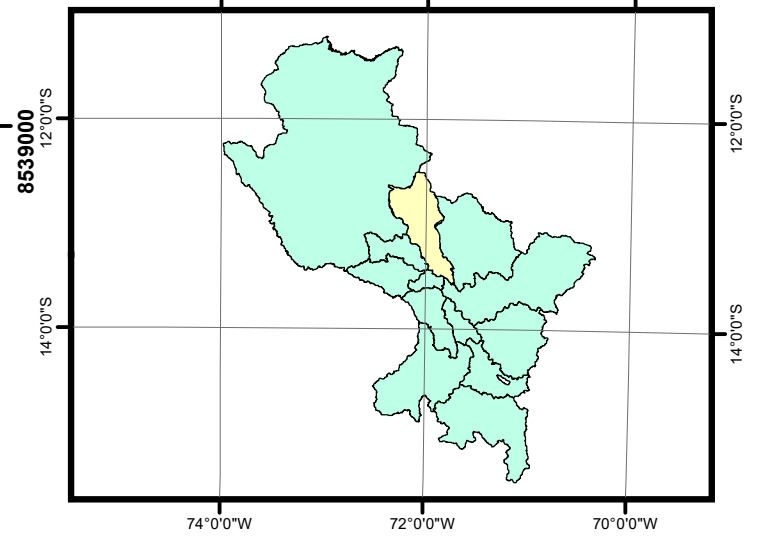
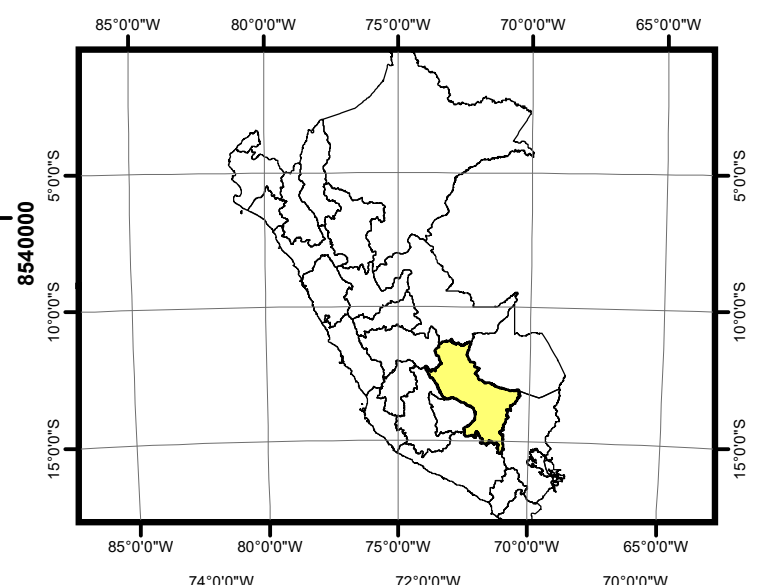
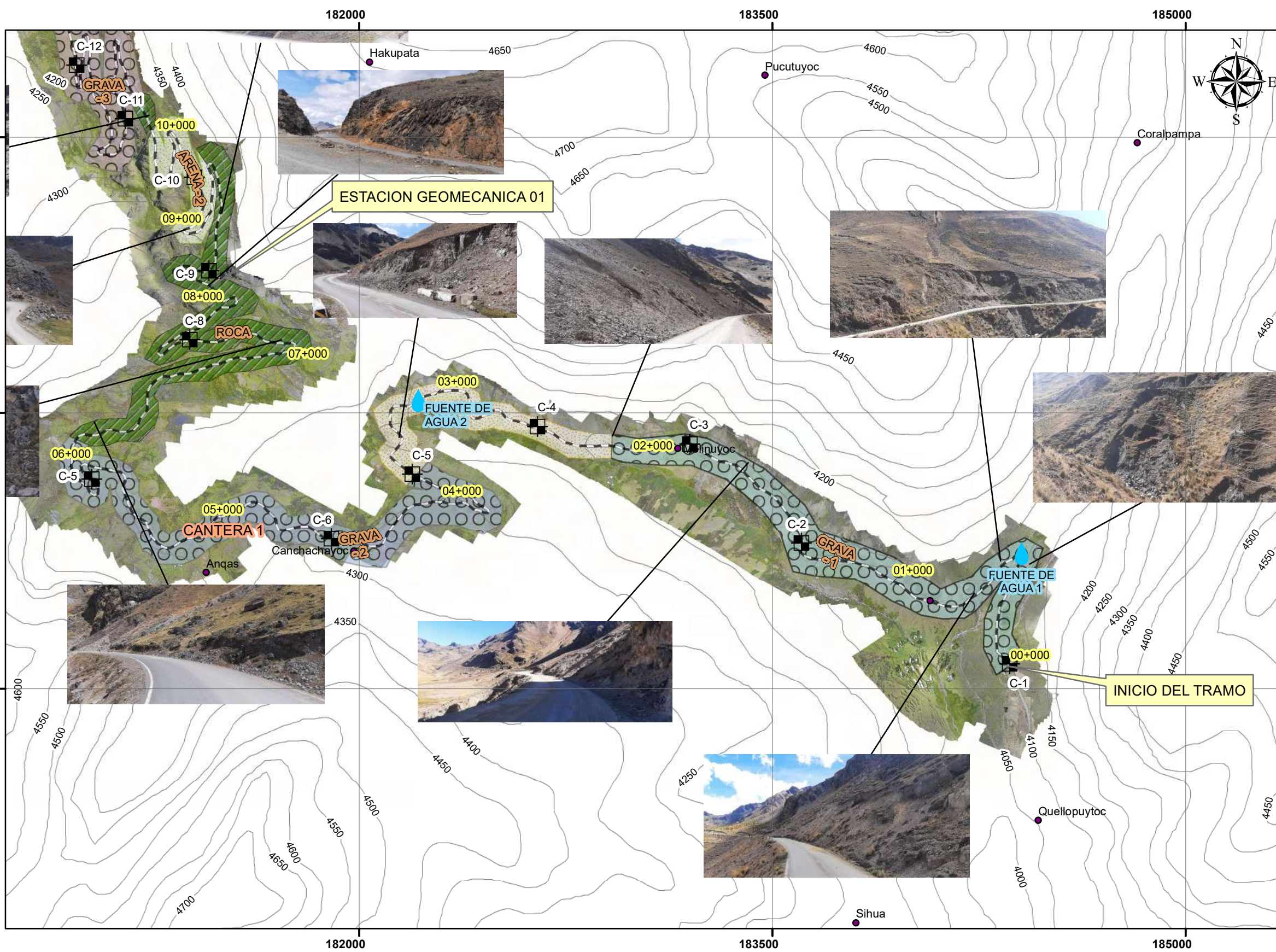
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Título de la tesis:

"ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DEL TRAMO QUELLOPUITO – LARES,
DISTRITO DE LARES, PROVINCIA DE CALCA, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2023"

Ubicación:	Plano:	MAPA HIDROGRAFICO	
Depart: CUSCO	Fecha:	MAYO	Presentado por:
Provin: CALCA	2023	Escala:	Bach.: CHACON CAMPANA HUBERT
Distri: LARES		1/75000	Bach.: TTITO PUMA ABEL

M-07



LEYENDA

ZONIFICACION GEOTECNICA

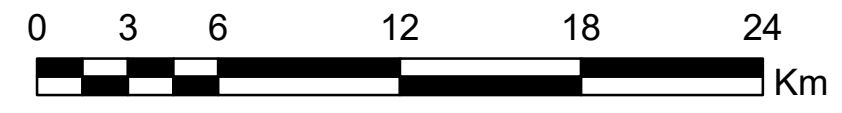
	ARENA - 1, Arenas Limo Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 2, Arenas Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 3, Arenas Arcillosas intercaladas con Arcillas de alta plasticidad
	GRAVA - 1, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas mal graduadas
	GRAVA - 2, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas de baja plasticidad
	GRAVA - 3, Gravas Arcillosas intercaladas de Afloramiento Rocoso
	GRAVA - 4, Gravas Limosas graduadas intercaladas con Gravas Arcillosas
	GRAVA - 5, Gravas Arcillosas bien graduadas
	GRAVA - 6, Gravas Arcillosas mal graduadas intercaladas con Gravas Limo Arcillosas
	ROCA, Afloramiento de Material Rocoso de tipo Metamorfoico

SIMBOLOGIA

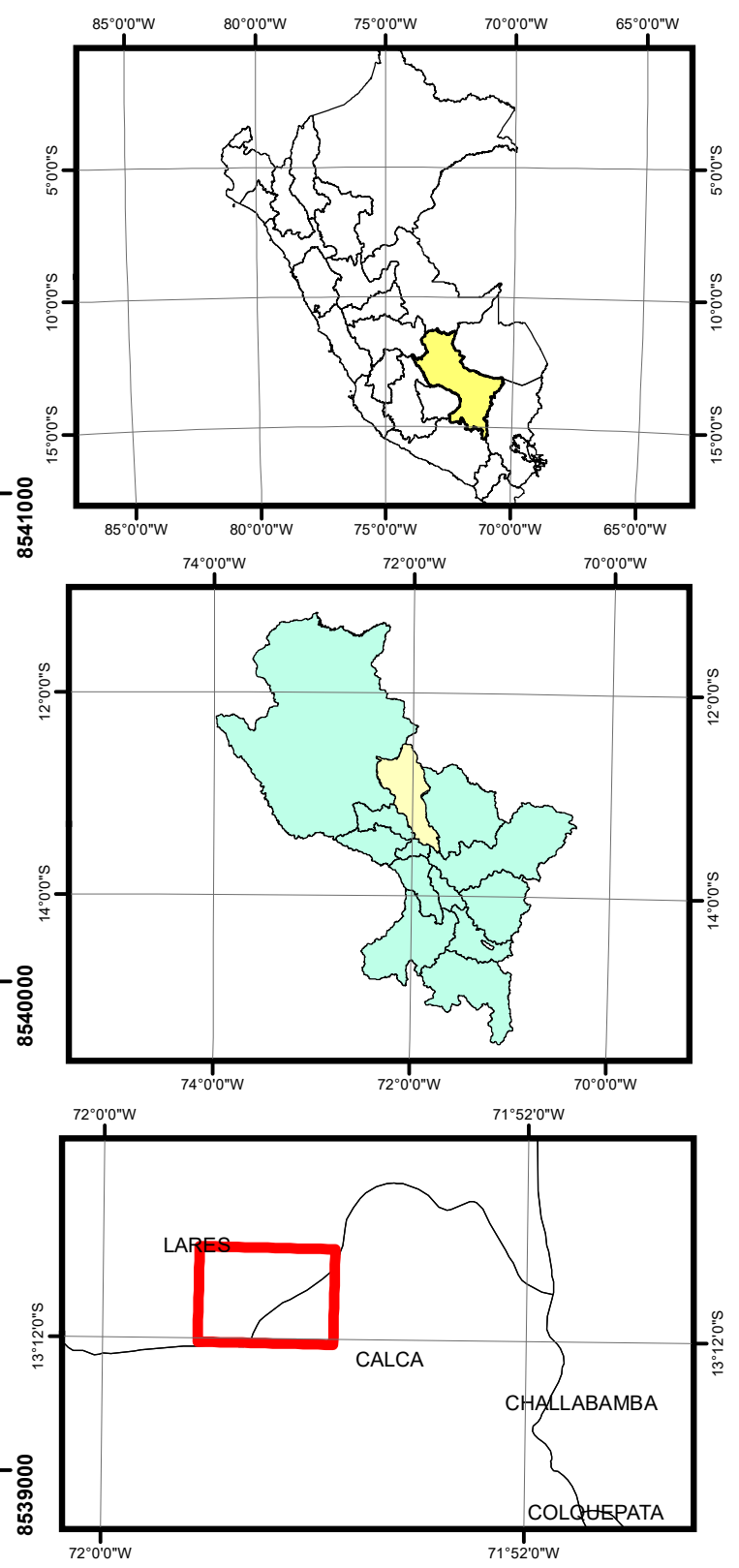
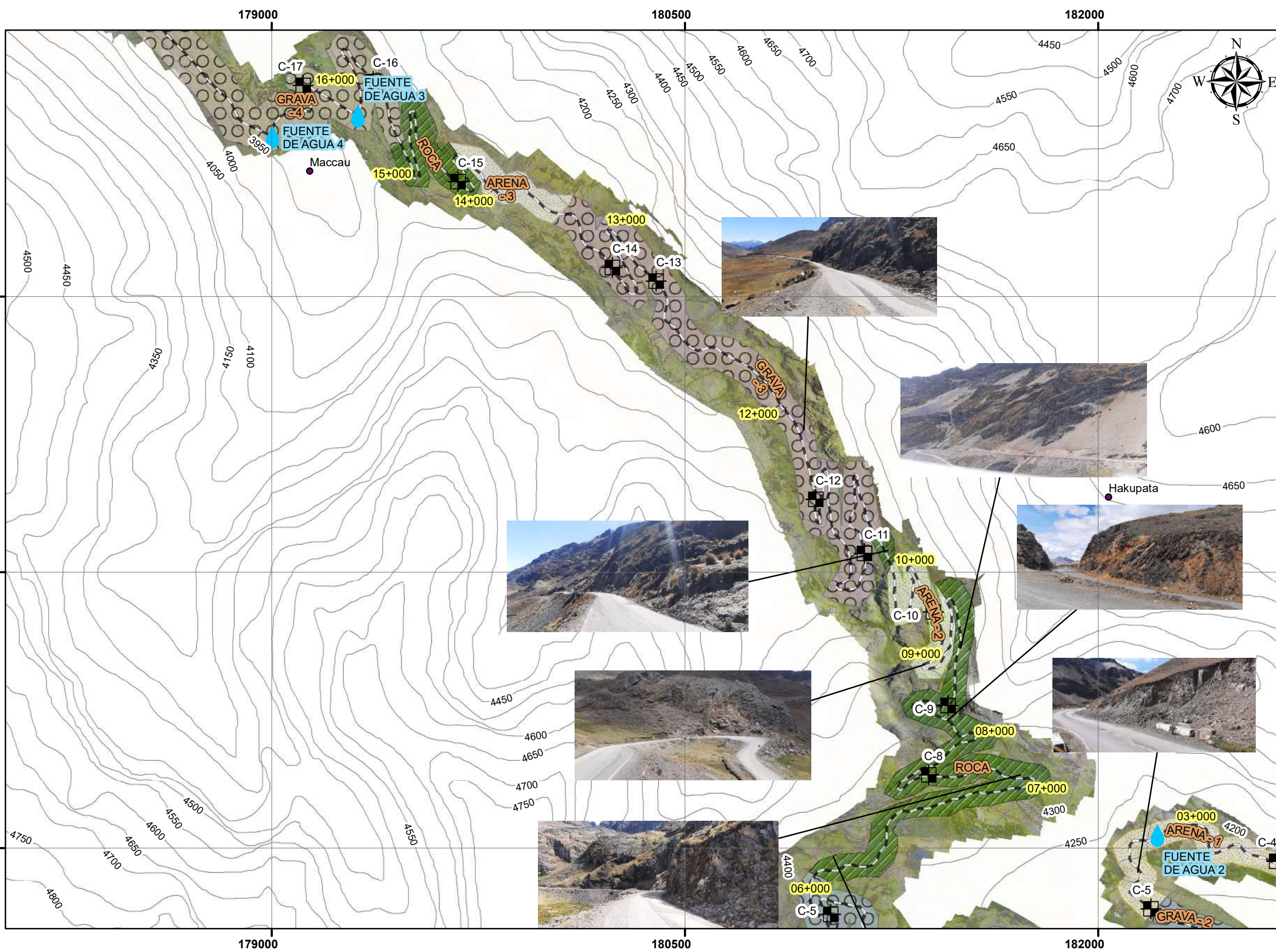
	COMUNIDADES
	FUENTES_DE_AGUA
	CALICATAS
	Eje de via
	CURVAS DE NIVEL
	CANTERAS

ESCALA NUMERICA: 1:15,000

ESCALA GRAFICA:



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA</p>		
<p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
<p>Título de la Tesis: "ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA QUELLOPUITO - LARES, PROVINCIA DE CALCA, CUSCO 2023."</p>		
Ubicación: Región: CUSCO Prov.: CALCA DIST.: LARES	Plano: MAPA GEOTECNICO	Presentado: Bach. Chacon Campana, Hubert Bach. Tito Puma, Abel
Fecha: JUNIO 2024	Escala: 1:15000	M-7.1



LEYENDA

ZONIFICACION GEOTECNICA

- ARENA - 1, Arenas Limo Arcillosas de plasticidad media
- ARENA - 2, Arenas Arcillosas de plasticidad media
- ARENA - 3, Arenas Arcillosas intercaladas con Arcillas de alta plasticidad
- GRAVA - 1, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas mal graduadas
- GRAVA - 2, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas de baja plasticidad
- GRAVA - 3, Gravas Arcillosas intercaladas de Afloramiento Rocoso
- GRAVA - 4, Gravas Limosas graduadas intercaladas con Gravas Arcillosas
- GRAVA - 5, Gravas Arcillosas bien graduadas
- GRAVA - 6, Gravas Arcillosas mal graduadas intercaladas con Gravas Limo Arcillosas
- ROCA, Afloramiento de Material Rocoso de tipo Metamorfoico

SIMBOLOGIA

- COMUNIDADES
- FUENTES_DE_AGUA
- CALICATAS
- Eje de via
- CURVAS DE NIVEL
- CANTERAS

ESCALA NUMERICA: 1:15,000

ESCALA GRAFICA:





**UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINAS Y METALURGICA

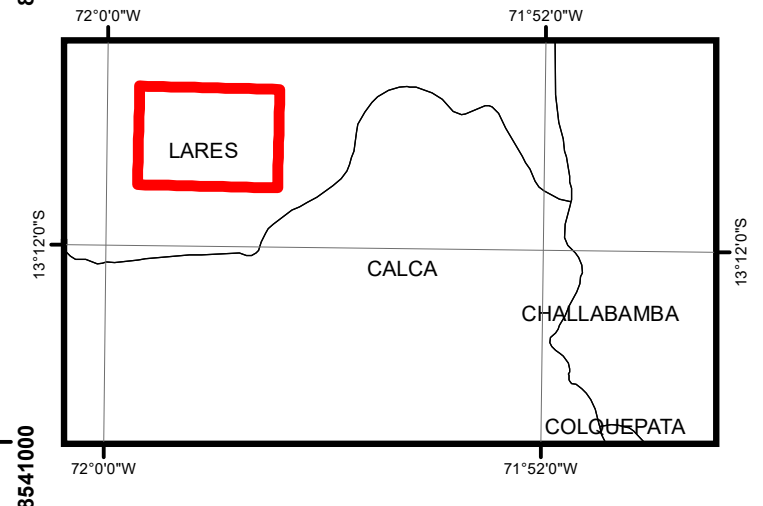
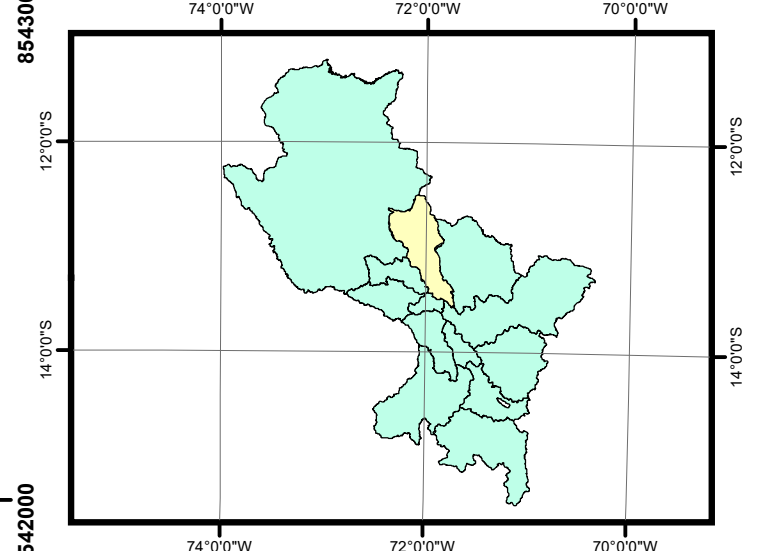
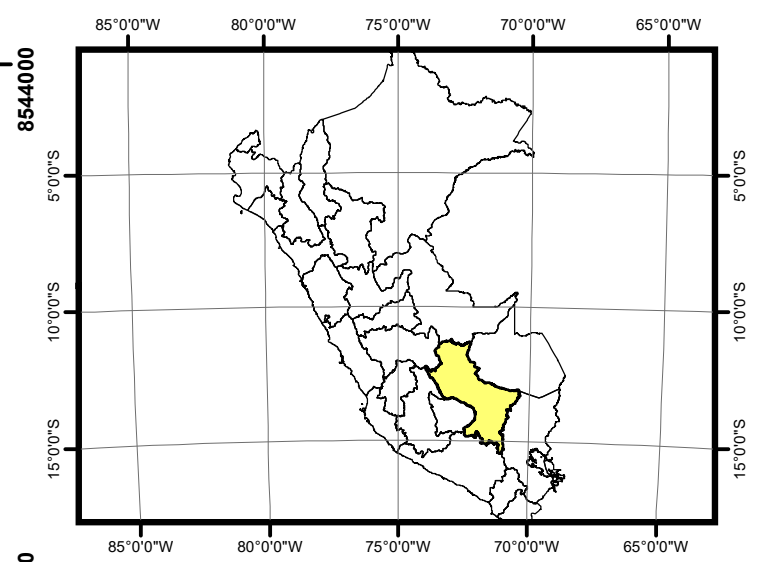
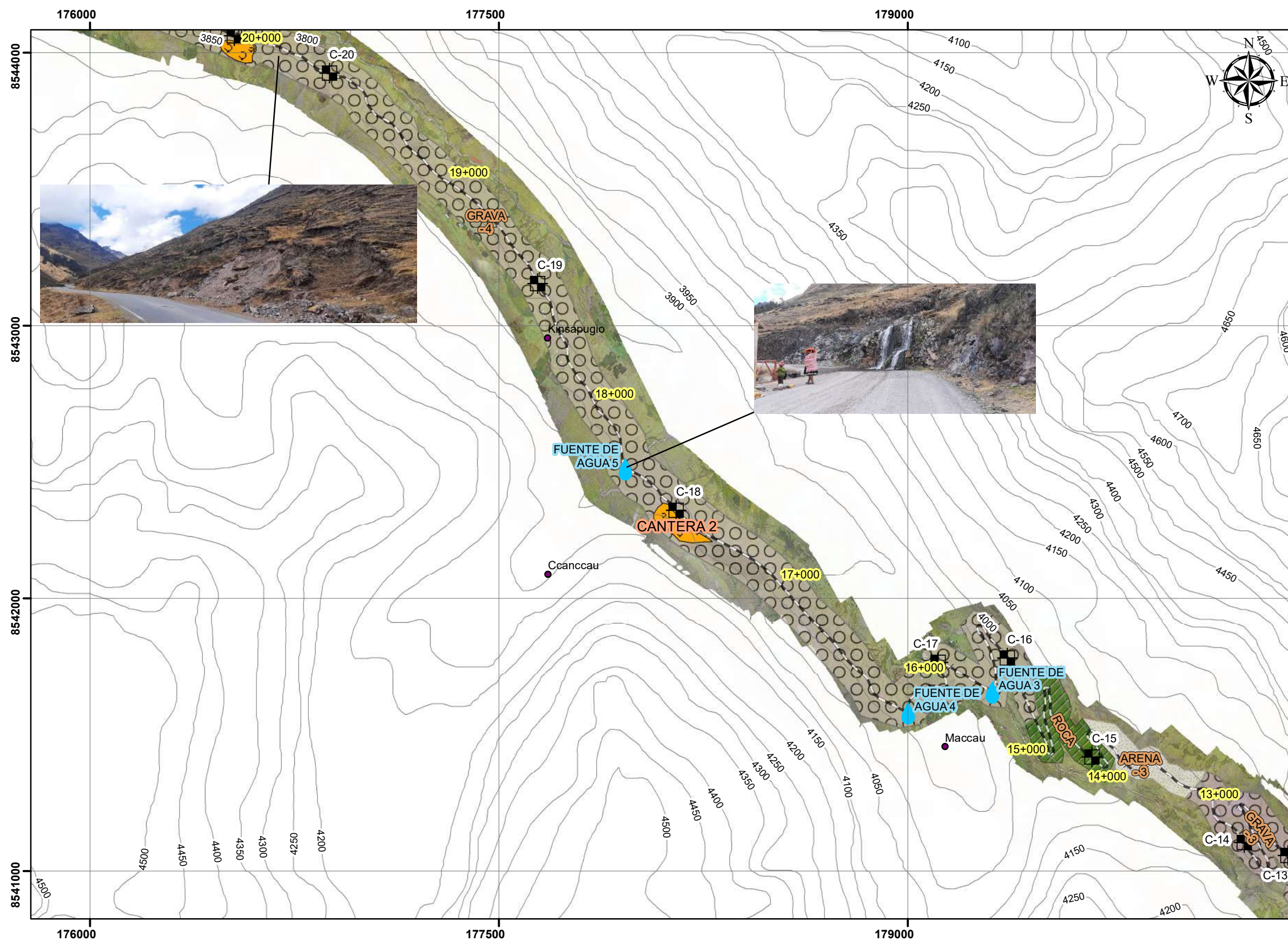


ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

Título de la Tesis:
**"ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
 CARRETERA QUELLOPUITO - LARES, PROVINCIA DE CALCA, CUSCO 2023."**

Ubicación: Región: CUSCO Prov.: CALCA DIST.: LARES	Plano: MAPA GEOTECNICO	Fecha: JUNIO 2024	Escala: 1:15000	Presentado: Bach. Chacon Campana, Hubert Bach. Tito Puma, Abel
---	------------------------	-------------------------	--------------------	--

M-7.2



LEYENDA

ZONIFICACION GEOTECNICA

	ARENA - 1, Arenas Limo Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 2, Arenas Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 3, Arenas Arcillosas intercaladas con Arcillas de alta plasticidad
	GRAVA - 1, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas mal graduadas
	GRAVA - 2, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas de baja plasticidad
	GRAVA - 3, Gravas Arcillosas intercaladas de Afloramiento Rocoso
	GRAVA - 4, Gravas Limosas graduadas intercaladas con Gravas Arcillosas
	GRAVA - 5, Gravas Arcillosas bien graduadas
	GRAVA - 6, Gravas Arcillosas mal graduadas intercaladas con Gravas Limo Arcillosas
	ROCA, Afloramiento de Material Rocoso de tipo Metamorfoico

SIMBOLOGIA

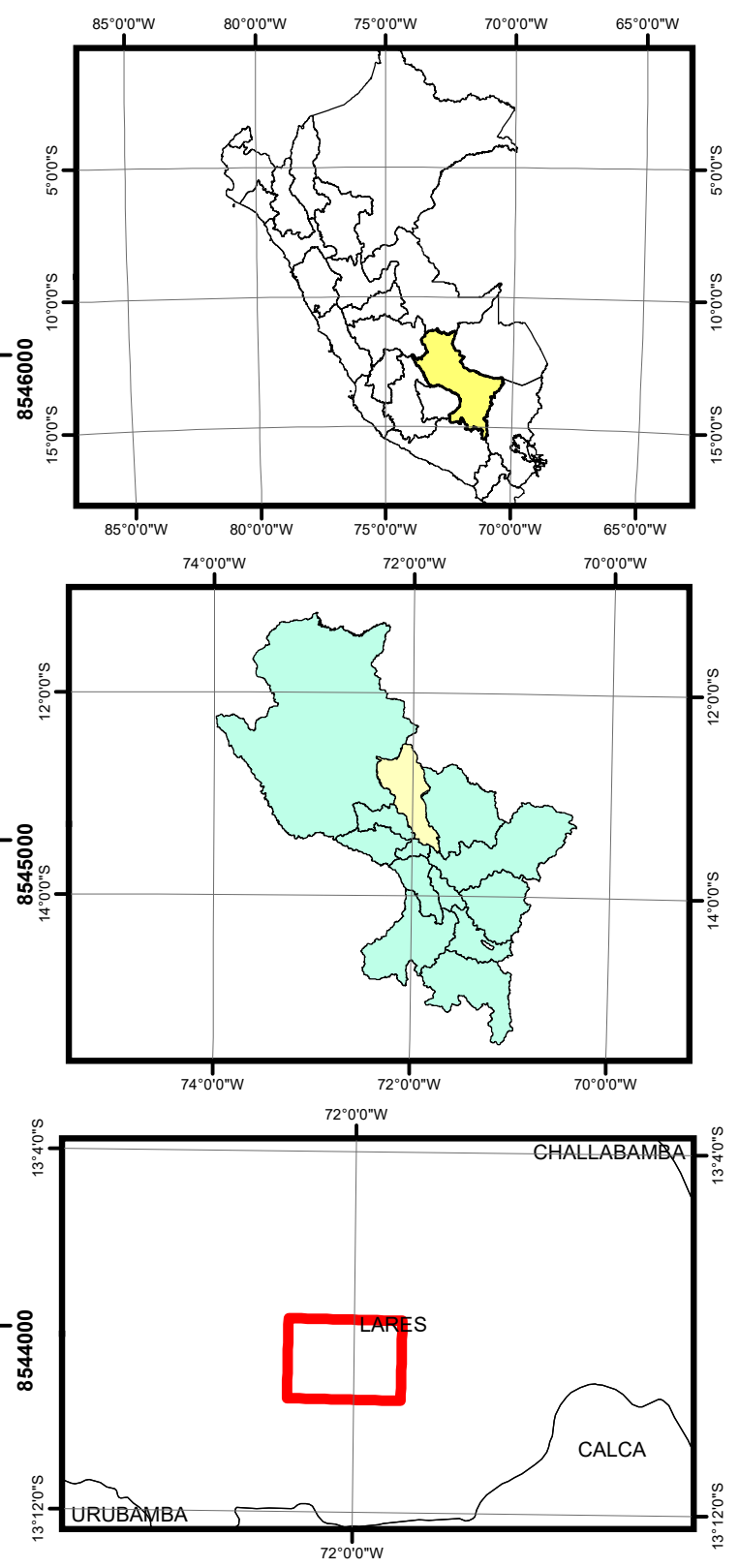
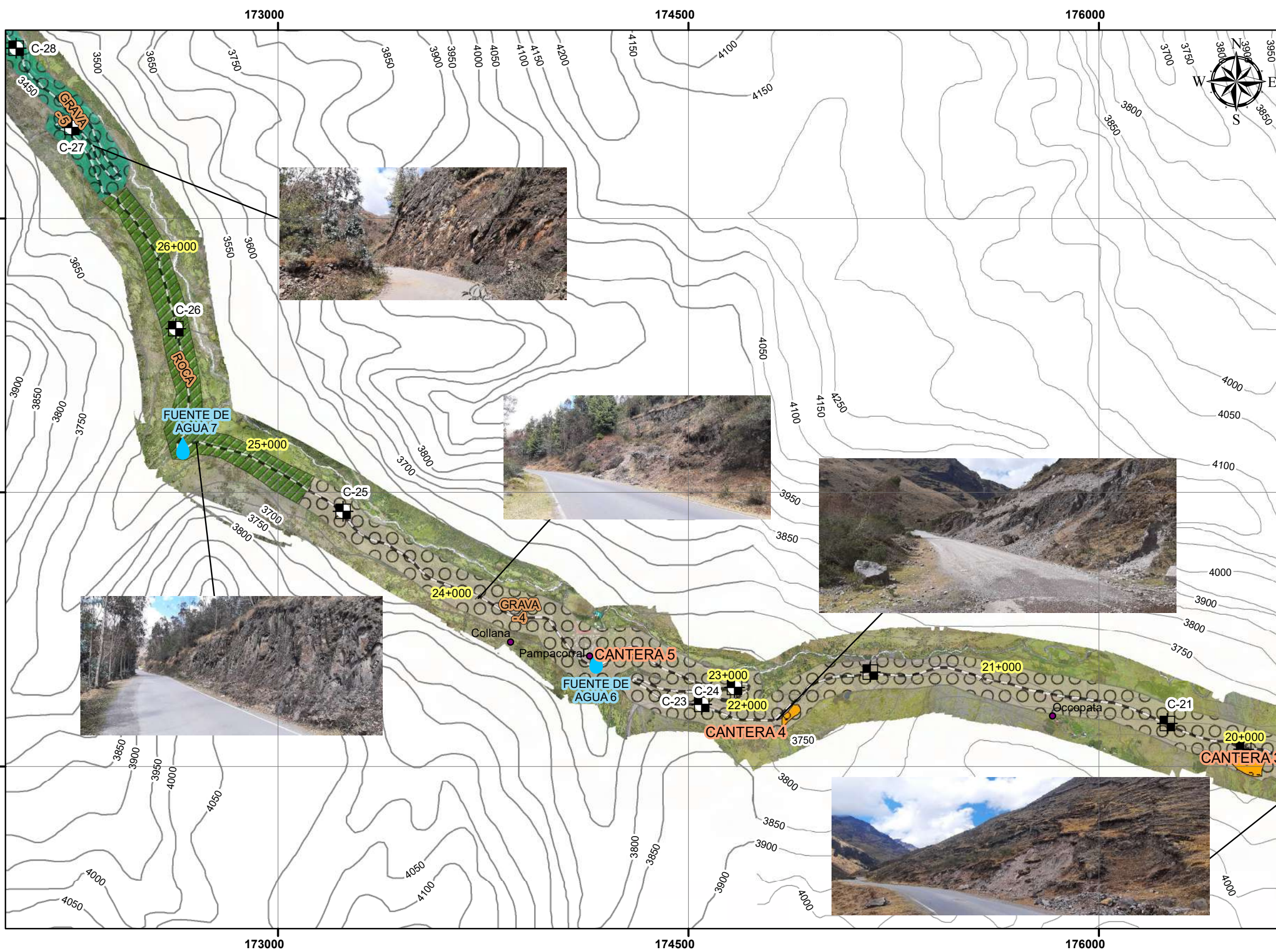
	COMUNIDADES
	FUENTES_DE_AGUA
	CALICATAS
	Eje de via
	CURVAS DE NIVEL
	CANTERAS

ESCALA NUMERICA: 1:15,000

ESCALA GRAFICA:



		UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO		
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA		ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
Título de la Tesis: "ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA QUELLOPUITO - LARES, PROVINCIA DE CALCA, CUSCO 2023."				
Ubicación: Región: CUSCO Prov.: CALCA DIST.: LARES	Plano: MAPA GEOTECNICO	Fecha: JUNIO 2024	Escala: 1:15000	Presentado: Bach. Chacon Campana, Hubert Bach. Tito Puma, Abel
				M-7.3



LEYENDA

ZONIFICACION GEOTECNICA

	ARENA - 1, Arenas Limo Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 2, Arenas Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 3, Arenas Arcillosas intercaladas con Arcillas de alta plasticidad
	GRAVA - 1, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas mal graduadas
	GRAVA - 2, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas de baja plasticidad
	GRAVA - 3, Gravas Arcillosas intercaladas de Afloramiento Rocoso
	GRAVA - 4, Gravas Limosas graduadas intercaladas con Gravas Arcillosas
	GRAVA - 5, Gravas Arcillosas bien graduadas
	GRAVA - 6, Gravas Arcillosas mal graduadas intercaladas con Gravas Limo Arcillosas
	ROCA, Afloramiento de Material Rocoso de tipo Metamorfico

SIMBOLOGIA

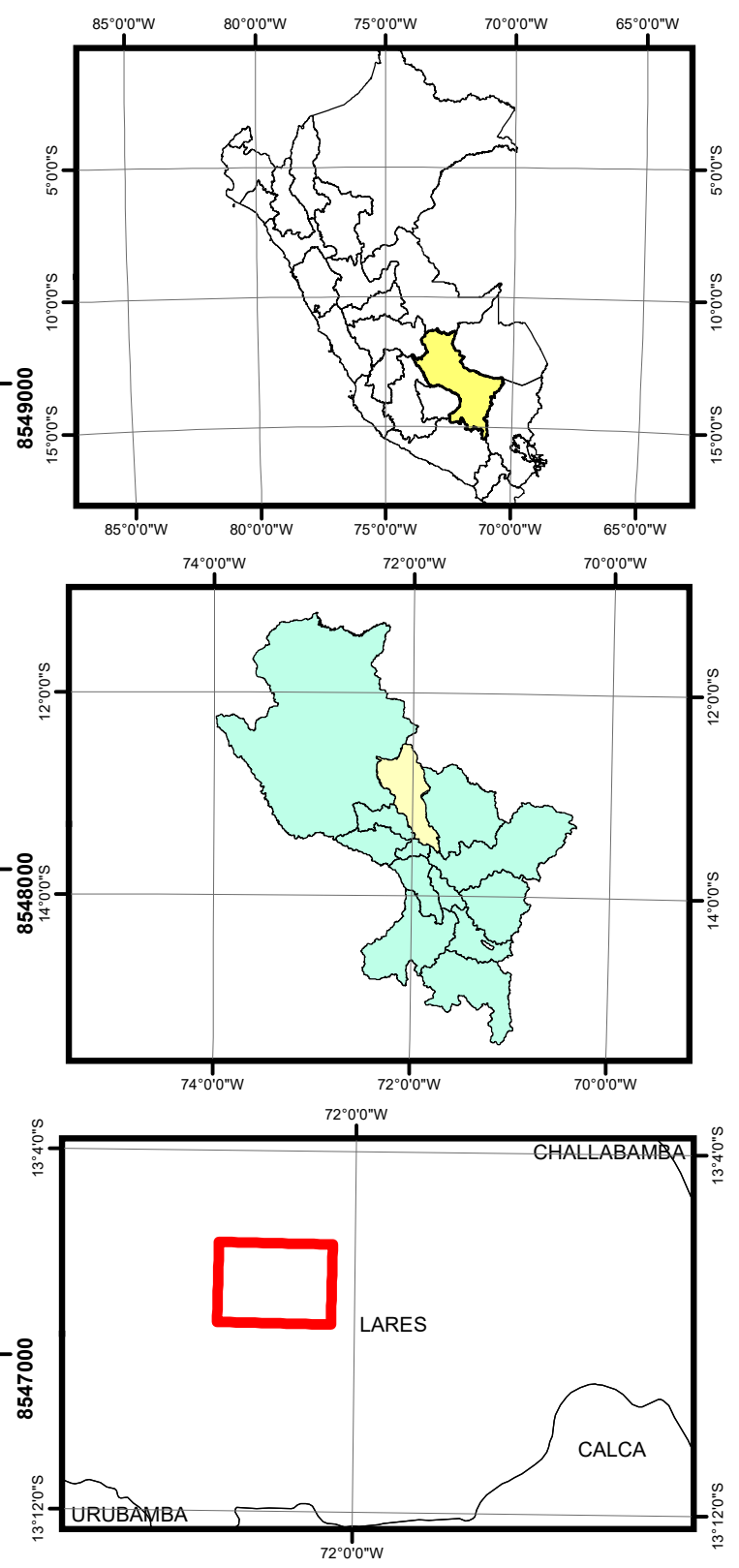
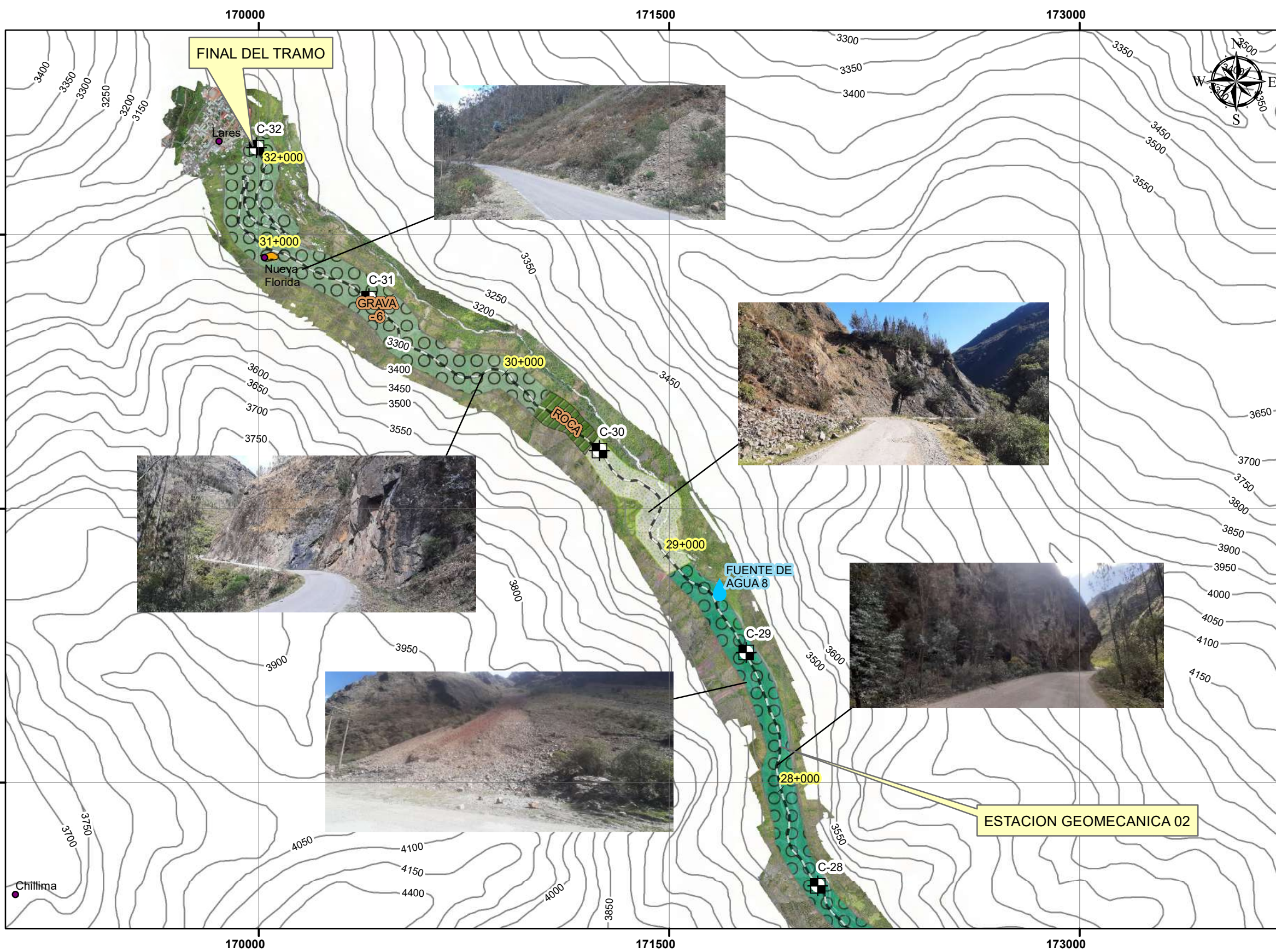
	COMUNIDADES
	FUENTES_DE_AGUA
	CALICATAS
	Eje de via
	CURVAS DE NIVEL
	CANTERAS

ESCALA NUMERICA: 1:15000

ESCALA GRAFICA:



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA</p>		
<p>Título de la Tesis: "ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA QUELLOPUITO - LARES, PROVINCIA DE CALCA, CUSCO 2023."</p>		
<p>Ubicación: Región: CUSCO Prov.: CALCA DIST.: LARES</p>	<p>Plano: MAPA GEOTECNICO</p>	<p>Plano: M-7.4</p>
<p>Fecha: JUNIO 2024</p>	<p>Escala: 1:15000</p>	<p>Presentado: Bach. Chacon Campana, Hubert Bach. Tito Puma, Abel</p>



LEYENDA

ZONIFICACION GEOTECNICA

	ARENA - 1, Arenas Limo Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 2, Arenas Arcillosas de plasticidad media
	ARENA - 3, Arenas Arcillosas intercaladas con Arcillas de alta plasticidad
	GRAVA - 1, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas mal graduadas
	GRAVA - 2, Gravas Limo Arcillosas y Gravas Limosas de baja plasticidad
	GRAVA - 3, Gravas Arcillosas intercaladas de Afloramiento Rocoso
	GRAVA - 4, Gravas Limosas graduadas intercaladas con Gravas Arcillosas
	GRAVA - 5, Gravas Arcillosas bien graduadas
	GRAVA - 6, Gravas Arcillosas mal graduadas intercaladas con Gravas Limo Arcillosas
	ROCA, Afloramiento de Material Rocoso de tipo Metamorfico

SIMBOLOGIA

	COMUNIDADES
	FUENTES_DE_AGUA
	CALICATAS
	Eje de via
	CURVAS DE NIVEL
	CANTERAS

ESCALA NUMERICA: 1:15000

ESCALA GRAFICA:



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</p>		
<p>FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA</p>		
<p>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA</p>		
<p>Título de la Tesis: "ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA QUELLOPUITO - LARES, PROVINCIA DE CALCA, CUSCO 2023."</p>		
Ubicación: Región: CUSCO Prov.: CALCA DIST.: LARES	Plano: MAPA GEOTECNICO	Escala: 1:15000
Fecha: JUNIO 2024	Presentado: Bach. Chacon Campana, Hubert Bach. Tito Puma, Abel	M-7.5