

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



TESIS

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO
DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA EN LA
CU – 145 EN EL TRAMO: TRAYECTORIA EMP. PE-28 F
(CHINCHERO) – PIURAY – QUISPIHUARA - SENCCA, R81356 EN EL
TRAMO: EMP. CU – 145 – EMP. PE-28 F DISTRITOS DE CUSCO,
CHINCHERO DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO**

PRESENTADO POR:

Br. FERNANDO HUAMAN QUISPE

Br. KELLY MELISSA HUAMAN CARPIO

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

ASESOR:

Ing. VÍCTOR VIDAL GARATE GÓNGORA

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor VÍCTOR VIDAL GARATE GÓNGORA.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO
DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA EN LA CU-145 EN EL TRAMO: TRAYECTORIA
EMP. PE-28F (CHINCHERO) - PIURAY - QUITIHUARA - SENCRA, R.P.356 EN EL TRAMO: EMP. CU-145
EMP. PE-28F, DISTRITOS DE CUSCO, CHINCHERO DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO.....

Presentado por: FERNANDO HUAMAN QUISPE..... DNI N° 7532871.....;
presentado por: KELLY MELISSA HUAMAN CARPIO..... DNI N° 70571915.....
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO GEOLOGO.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<u>X</u>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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 las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 03 de AGOSTO de 2026.....

[Firma]
Firma

Post firma VÍCTOR VIDAL GARATE GÓNGORA.....

Nro. de DNI.....29390015

ORCID del Asesor.....0000-0002-7296-6482

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 87259-612263113.....

Huaman- Huaman

Estudio Geológico- Geotécnico para el Mejoramiento del Servicio de Transitabilidad Vial Interurbana

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:612263113

Fecha de entrega

3 ago 2026, 10:07 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

3 ago 2026, 10:33 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Huaman C.- Huaman Q.pdf

Tamaño del archivo

10.1 MB

200 páginas

50.293 palabras

288.746 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 18 palabras)
- Fuentes de Internet
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
237 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A todas las personas que confiaron en que este trabajo sería una realidad. En especial, a mis padres, a mi hermano y a mis amigos, por acompañarme a lo largo de este camino.

Kelly Melissa Huaman Carpio

A mi querida madre, Sarita, por su amor incondicional, su sacrificio y el apoyo constante que hicieron posible alcanzar esta meta.

A mi abuelo Inocencio, quien desde el cielo guía mi camino y permanece siempre en mi corazón. Este logro también es un homenaje a su recuerdo y a las enseñanzas que dejó en mi vida. A mi querida abuelita, Honoria, por su cariño, sus palabras de aliento y por acompañarme siempre con su amor y fortaleza.

Con profundo agradecimiento, dedico este trabajo a quienes han sido la inspiración y el motor para cumplir uno de mis más grandes anhelos.

Fernando Huaman Quispe

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

A nuestros padres, hermanos, familiares y amigos, por su apoyo incondicional, comprensión y constante motivación durante esta etapa. Su confianza y aliento fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

Al Ingeniero Víctor Garate Góngora, por su valiosa guía, orientación y disposición durante la realización de este trabajo de tesis. Sus conocimientos y recomendaciones fueron de gran importancia para el desarrollo de esta investigación.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo fundamental realizar un estudio geológico-geotécnico para el mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en CU-145, en la región Cusco. El estudio fue desarrollado a fines del año 2024, en respuesta a la necesidad de identificar y resolver los problemas geológicos y geotécnicos que comprometen la estabilidad del terreno y la operatividad de la vía.

Las condiciones geomorfológicas, geológicas del tramo determinan una influencia negativa en la estabilidad de la vía. El relieve, con pendientes mayores de 35°, favorece procesos de erosión, socavación e inestabilidad de taludes. A ello se suma la presencia de las formaciones Ayabacas y Kayra, junto con depósitos cuaternarios, que presentan fracturamiento, meteorización y erosión, incrementando la susceptibilidad a procesos de geodinámica externa, identificándose sectores altamente susceptibles a erosión y formación de cárcavas, principalmente debido a deficiencias en el sistema de drenaje.

En el aspecto geotécnico, el 81.82% del tramo presenta una subrasante de regular a inadecuada, con valores de CBR entre 1.20% y 9.14%, evidenciando baja capacidad de soporte. No obstante, se determinó que las canteras evaluadas presentan materiales aptos para el mejoramiento de subrasante y subbase mediante mezclas dosificadas, constituyendo una alternativa técnica viable para la mejora de la infraestructura vial.

En cuanto a la estabilidad de taludes, se identifican condiciones críticas con valores promedio de 1.28 (estático) y 1.05 (pseudostático).

Palabras clave: Geotecnia, Geología, Mecánica de suelos, Taludes

ABSTRACT

The primary objective of this research is to conduct a geological and geotechnical study for the improvement of the interurban road transportation service along the CU-145 highway in the Cusco region. The study was carried out at the end of 2024 in response to the need to identify and address the geological and geotechnical issues affecting ground stability and the operational performance of the roadway.

The geomorphological and geological conditions of the study area have a significant influence on the stability of the road. The terrain, characterized by slopes greater than 35° , promotes erosion, undercutting, and slope instability. In addition, the presence of the Ayabacas and Kayra formations, together with Quaternary deposits affected by fracturing, weathering, and erosion, increases the susceptibility to external geodynamic processes. Highly vulnerable sectors were identified, particularly those affected by erosion and gully formation due to deficiencies in the drainage system.

From a geotechnical perspective, 81.82% of the roadway presents subgrade conditions ranging from fair to poor, with California Bearing Ratio (CBR) values between 1.20% and 9.14%, indicating low bearing capacity. However, the evaluated borrow pits provide suitable materials for subgrade and subbase improvement through properly designed mixtures, representing a technically feasible alternative for road rehabilitation.

Regarding slope stability, critical conditions were identified, with average factors of safety of 1.28 under static conditions and 1.05 under pseudo-static conditions.

Keywords: Geotechnics, Geology, Soil mechanics, Slopes

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se desarrolla en el marco de los estudios de factibilidad para el mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana de la carretera departamental CU-145, una vía de importancia estratégica para la región Cusco por su función de integración territorial entre los distritos de Chinchero, Piuray, Quispihuara y Sencca. Su importancia se ha incrementado significativamente con la construcción del Nuevo Aeropuerto Internacional de Chinchero, infraestructura de alcance nacional que demanda adecuadas condiciones de transitabilidad, seguridad y capacidad. Sin embargo, la carretera presenta un avanzado estado de deterioro asociado tanto a deficiencias en su diseño y mantenimiento como a la influencia de factores geológicos y geotécnicos que afectan su estabilidad, capacidad de soporte y transitabilidad.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo determinar los parámetros geológicos y geotécnicos que influyen en la transitabilidad vial interurbana de la carretera departamental CU-145. Para ello, se desarrolla un estudio descriptivo y aplicativo basado en el análisis de las características geomorfológicas, geológicas, estructurales, geodinámicas y geotécnicas presentes en el área de estudio, así como en la evaluación de su influencia sobre la estabilidad y el comportamiento de la infraestructura vial.

Los resultados obtenidos contribuirán a ampliar el conocimiento geológico y geotécnico de la zona, proporcionando información técnica relevante para la formulación de medidas de mejoramiento, conservación y gestión de la infraestructura vial. Asimismo, constituirán un aporte académico y científico para futuras investigaciones desarrolladas en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), además de

servir como base para la toma de decisiones relacionadas con la planificación, diseño, mantenimiento y mejoramiento de la red vial regional.

La investigación se estructura en seis capítulos. El Capítulo I presenta los aspectos generales del estudio; los Capítulos II, III, IV y V desarrollan la caracterización geomorfológica, geológica, estructural y geodinámica del área de estudio, respectivamente; mientras que el Capítulo VI comprende la evaluación geotécnica. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN.....	VI
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	17
1.1 UBICACIÓN.....	18
1.1.1 Ubicación política	18
1.1.2 Ubicación geográfica y UTM	18
1.2 ACCESIBILIDAD	19
1.3 CLIMA	20
1.4 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	20
1.4.1 Descripción del problema	20
1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	22
1.5.1 Problema general	22
1.5.2 Problemas específicos	22
1.6 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	23
1.7 OBJETIVOS	23
1.7.1 Objetivo general	23
1.7.2 Objetivos específicos	23
1.8 HIPÓTESIS	24
1.8.1 Hipótesis general.....	24
1.8.2 Hipótesis específicas	24
1.9 JUSTIFICACIÓN	24
1.10 MARCO REFERENCIAL – TEÓRICO – CONCEPTUAL	27
1.10.1 Marco referencial (antecedentes).....	27
1.10.2 Marco teórico	30
1.10.3 Marco conceptual.....	36

1.11	METODOLOGÍA, MATERIALES, EQUIPOS Y ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	37
1.11.1	Metodología.....	37
1.11.2	Período de ejecución de la investigación.....	39
1.11.3	Materiales y equipos.....	39
1.11.4	Etapas de investigación.....	40
CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA.....		42
2.1	ASPECTOS GENERALES.....	43
2.1.1	Pendientes del terreno.....	43
2.2	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	45
2.2.1	Cordillera Oriental.....	45
2.2.1	Cordillera Occidental.....	46
2.2.2	Altiplano	46
2.3	GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	49
2.3.1	Montaña.....	49
2.3.2	Lomadas	50
2.3.3	Llanuras.....	52
2.3.4	Quebradas	53
CAPITULO III: GEOLOGÍA.....		55
3.1	ASPECTOS GENERALES.....	56
3.2	GEOLOGÍA REGIONAL	56
3.2.1	Mesozoica - cretácico inferior.....	56
3.2.2	Mesozoica - cretácico superior	57
3.2.3	Cenozoico paleógeno eoceno	57
3.2.4	Cenozoico neógeno plioceno.....	58
3.2.5	Cenozoico cuaternario pleistoceno	58
3.3	GEOLOGÍA LOCAL	59
3.3.1	Formación Ayabacas (Kis-ayb3).....	59
3.3.2	Formación Kayra (Peo-k3)	60
3.3.3	Depósitos cuaternarios.....	61
3.3.4	Deposito lacustre (Q-la).....	62
3.3.5	Coluvial (Q-cl).....	63
3.3.6	Deposito Coluvio-Deluvial (Q-cd)	64
3.3.7	Depósitos eluviales o residuales (Q-re).....	66
CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....		67
4.1	ASPECTOS GENERALES.....	68

4.2	LINEAMIENTO DE FALLA NO – SE.	69
4.2.1	<i>Sistema de fallamiento Abancay – Andahuaylas – Totos</i>	69
CAPITULO V: GEODINÁMICA		70
5.1	ASPECTOS GENERALES.....	71
5.2	GEODINÁMICA INTERNA	72
5.2.1	<i>Perfiles del suelo</i>	77
5.2.2	<i>Parámetros de sitio</i>	79
5.3	GEODINÁMICA EXTERNA	81
5.3.1	<i>Erosión de laderas</i>	81
5.3.2	<i>Deslizamiento</i>	82
5.3.3	<i>Flujo de tierra</i>	83
5.4	SECTORES IDENTIFICADOS CON PROBLEMAS DE GEODINÁMICA EXTERNA	84
CAPITULO VI: GEOTECNIA.....		109
6.1	GENERALIDADES.....	110
6.1.1	<i>Normatividad</i>	110
6.1.2	<i>Geotecnia de la vía</i>	111
6.1.3	<i>Metodología de investigación de campo y laboratorio</i>	111
6.2	ESTUDIO DE LA SUBRASANTE	111
6.2.1	<i>Prospección de campo</i>	111
6.2.2	<i>Calicatas</i>	112
6.2.3	<i>Muestreo</i>	112
6.2.4	<i>Registro de calicatas</i>	112
6.2.5	<i>Trabajo de laboratorio</i>	114
6.2.6	<i>Muestreo y registro de exploración</i>	114
6.2.7	<i>Caracterización físico – mecánica de la vía</i>	119
6.2.8	<i>Nivel freático</i>	127
6.2.9	<i>Estabilización de suelos</i>	127
6.2.10	<i>Capacidad de soporte</i>	128
6.3	ESTUDIO DE CANTERAS.....	132
6.3.1	<i>Ubicación de canteras</i>	132
6.3.2	<i>Evaluación para Sub Base</i>	143
6.3.3	<i>Evaluación para Base</i>	148
6.4	ESTABILIZACIÓN DE TALUDES	156
6.4.1	<i>Fundamentos y Factores de Inestabilidad</i>	156
6.4.2	<i>Metodología de Análisis de Estabilidad</i>	162
6.4.3	<i>Parámetros de Diseño y Normatividad</i>	164

6.4.4	<i>Análisis de Estabilidad de taludes</i>	168
6.4.5	<i>Medidas de Estabilización y Remedición</i>	179
DISCUSION DE RESULTADOS		185
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		187
CONCLUSIONES		187
☐	<i>Conclusión general</i>	187
☐	<i>Conclusiones específicas</i>	188
RECOMENDACIONES		190
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		193
ANEXOS		196

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 UBICACIÓN POLÍTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
TABLA 2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y UTM	19
TABLA 3 ACCESIBILIDAD DEL ÁREA DE ESTUDIO	19
TABLA 4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE DISEÑO	35
TABLA 5 FACTORES DE LA ZONA "Z"	75
TABLA 6 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO	78
TABLA 7 FACTOR DE SUELO "S"	79
TABLA 8 PERIODOS TP Y TL	79
TABLA 9 PARÁMETROS DE DISEÑO DE BASAMENTO ROCOSO	80
TABLA 10 PARÁMETROS DE DISEÑO DE MATERIAL DE COBERTURA	80
TABLA 11 CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN GEODINÁMICA	85
TABLA 12 SECTORES CRÍTICOS IDENTIFICADOS POR GEODINÁMICA EXTERNA	86
TABLA 13 SECTOR CRÍTICO N°1 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	88
TABLA 14 SECTOR CRÍTICO N°2 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	90
TABLA 15 SECTOR CRÍTICO N°3 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	92
TABLA 16 SECTOR CRÍTICO N°4 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	94
TABLA 17 SECTOR CRÍTICO N°5 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	96
TABLA 18 SECTOR CRÍTICO N°6 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	98
TABLA 19 SECTOR CRÍTICO N°7 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	100
TABLA 20 SECTOR CRÍTICO N°8 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA - CÁRVACA	102
TABLA 21 SECTOR CRÍTICO N°9 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA - SOCAVACIÓN	104
TABLA 22 SECTOR CRÍTICO N°10 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA - SOCAVACIÓN	106
TABLA 23 SECTOR CRÍTICO N°11 EROSIÓN DE LADERA POR ESCORRENTÍA	108
TABLA 24 UBICACIÓN DE CALICATAS	113
TABLA 25 DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA DE CALICATAS	115
TABLA 26 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	119
TABLA 27 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN EL ÍNDICE DE GRUPO	122
TABLA 28 CORRELACIÓN DE TIPOS DE SUELOS AASHTO - SUCS	123
TABLA 29 CATEGORÍAS DE SUB-RASANTE	125
TABLA 30 RESULTADOS FINALES DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE CALICATAS PARA SUB-RASANTE	126
TABLA 31 CALICATAS QUE REQUIEREN MEJORAMIENTO A NIVEL SUB-RASANTE	127
TABLA 32 ESPESORES DE MEJORAMIENTO EN LA VÍA	130
TABLA 33 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA SENCCA	133
TABLA 34 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CANTERA SENCCA	134
TABLA 35 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA YANAMAYO	135
TABLA 36 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CANTERA YANAMAYO	136
TABLA 37 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA CCORICANCHA	137
TABLA 38 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CANTERA CCORICANCHA	138
TABLA 39 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA HUANDAR	139
TABLA 40 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CANTERA HUANDAR	140
TABLA 41 CÁLCULO DE VOLUMEN DE LA CANTERA OLLUCO PAMPA	141
TABLA 42 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LA CANTERA OLLUCO PAMPA	142
TABLA 43 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE CANTERAS PARA MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE	143
TABLA 44 RESUMEN DE ENSAYOS CON LA DOSIFICACIÓN PARA SUB-BASE	143
TABLA 45 REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO PARA SUB-BASE GRANULAR	144

TABLA 46 REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO VS RESULTADOS DE LABORATORIO PARA SUB-BASE	145
TABLA 47 REQUERIMIENTO DE ENSAYOS ESPECIALES PARA SUB-BASE GRANULAR	147
TABLA 48 REQUERIMIENTO DE ENSAYOS ESPECIALES VS RESULTADOS DE LABORATORIO PARA SUB-BASE.	148
TABLA 49 RESUMEN DE ENSAYOS CON LA DOSIFICACIÓN PARA BASE GRANULAR	149
TABLA 50 REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO PARA BASE GRANULAR	149
TABLA 51 REQUERIMIENTO GRANULOMÉTRICO VS RESULTADOS DE LABORATORIO PARA BASE GRANULAR	150
TABLA 52 REQUERIMIENTO DE CBR PARA BASE GRANULAR	152
TABLA 53 REQUERIMIENTO DE CBR VS RESULTADOS DE LABORATORIO PARA BASE GRANULAR.	152
TABLA 54 REQUERIMIENTO AGREGADO GRUESO PARA BASE GRANULAR	153
TABLA 55 REQUERIMIENTO VS RESULTADO DE LABORATORIO DE AGREGADO GRUESO PARA BASE GRANULAR	154
TABLA 56 REQUERIMIENTO AGREGADO FINO PARA BASE GRANULAR	154
TABLA 57 REQUERIMIENTO VS RESULTADO DE LABORATORIO DE AGREGADO FINO PARA BASE GRANULAR	155
TABLA 58 TALUDES DE CORTE.....	165
TABLA 59 RESUMEN DE PARÁMETROS DISEÑO SÍSMICO.....	167
TABLA 60 RESUMEN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TALUDES DE SUELO	169
TABLA 61 RESUMEN DE RESULTADOS DE FS PARA TALUDES DE SUELO, MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 VISTA PANORÁMICA DE GEOMORFOLOGÍA DE CARRETERA	45
FIGURA 2 UNIDADES GEOLÓGICAS REGIONALES Y UBICACIÓN DE ZONA DE INVESTIGACIÓN.....	46
FIGURA 3 VISTA DE GEOMORFOLOGÍA PREDOMINANTE CARACTERIZADO POR VERTIENTES MONTAÑOSAS	50
FIGURA 4 GEOMORFOLOGÍA DEL TERRENO CARACTERIZADA POR LOMADAS EN ROCAS SEDIMENTARIAS.....	51
FIGURA 5 GEOMORFOLOGÍA DEL TERRENO CARACTERIZADA POR LOMADAS FUERTEMENTE DISECTADAS	52
FIGURA 6 VISTA SATELITAL DEL SECTOR DE LLANURA LACUSTRE EN EL ÁREA DE ESTUDIO	53
FIGURA 7 VISTA PANORÁMICA DE QUEBRADA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	54
FIGURA 8 AFLORAMIENTOS DE CALIZA DE LA FORMACIÓN AYABACAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO ...	60
FIGURA 9 AFLORAMIENTOS DE ARENISCA DE LA FORMACIÓN KAYRA EN EL ÁREA DE ESTUDIO	61
FIGURA 10 VISTA DE DEPÓSITOS LACUSTRES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	63
FIGURA 11 DEPÓSITOS COLUVIALES IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	64
FIGURA 12 DEPÓSITOS COLUVIO-DELUVIAL IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	65
FIGURA 13 DEPÓSITOS RESIDUALES IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	66
FIGURA 14 MAPA DE LA GEOMETRÍA Y SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA	73
FIGURA 15 MAPA ZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL PERÚ.....	74
FIGURA 16 VISTA DE EROSIÓN DE LADERAS IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	82
FIGURA 17 VISTA DE DESLIZAMIENTO DE LADERA IDENTIFICADO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	83
FIGURA 18 VISTA DE FLUJOS DE TIERRA IDENTIFICADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	84
FIGURA 19 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°1	87
FIGURA 20 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°1	87
FIGURA 21 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°2.....	89
FIGURA 22 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°2	89
FIGURA 23 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°3.....	91
FIGURA 24 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°3	91
FIGURA 25 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°4.....	93
FIGURA 26 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°4	93
FIGURA 27 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°5.....	95
FIGURA 28 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°5	95
FIGURA 29 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°6.....	97
FIGURA 30 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°6	97
FIGURA 31 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°7.....	99
FIGURA 32 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°7	99
FIGURA 33 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°8.....	101
FIGURA 34 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°8	101
FIGURA 35 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°9.....	103
FIGURA 36 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°9	103
FIGURA 37 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°10.....	105
FIGURA 38 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°10	105
FIGURA 39 VISTA SATELITAL DE SECTOR CRÍTICO N°11.....	107
FIGURA 40 VISTA PROCESOS EROSIVOS EN EL SECTOR CRÍTICO N°11	107
FIGURA 41 VISTA DE EXPLORACIÓN DE CALICATAS	115
FIGURA 42 VISTA DE ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA EN LABORATORIO	120
FIGURA 43 VISTA DE ENSAYOS DE PLASTICIDAD EN LABORATORIO.....	121
FIGURA 44 VISTA DE ENSAYOS DE CBR EN LABORATORIO	124

FIGURA 45	VISTA GENERAL DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO EN LA VÍA.....	131
FIGURA 46	DETALLE DE ESPESORES DE MEJORAMIENTO EN TRAMOS DE LA VÍA	131
FIGURA 47	VISTA DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN LA CANTERA SENCCA.....	134
FIGURA 48	VISTA DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN LA CANTERA YANAMAYO	136
FIGURA 49	VISTA DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN LA CANTERA CCORICANCHA	138
FIGURA 50	VISTA DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN CANTERA HUANDAR	140
FIGURA 51	VISTA DE EXPLORACIÓN Y MUESTREO EN LA CANTERA OLLUCO PAMPA.....	142
FIGURA 52	CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN CANTERA YANAMAYO PARA SUB-BASE GRANULAR.	146
FIGURA 53	CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN CANTERA SENCCA PARA SUB BASE GRANULAR.	146
FIGURA 54	CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN CANTERA YANAMAYO PARA BASE GRANULAR.	151
FIGURA 55	CURVA GRANULOMÉTRICA DE COMBINACIÓN CANTERA SENCCA PARA BASE GRANULAR.	151
FIGURA 56	TRAYECTORIAS DE UN DESPRENDIMIENTO	160
FIGURA 57	ESQUEMA DE UN DESLIZAMIENTO ROTACIONAL	160
FIGURA 58	VISTA DE DESPRENDIMIENTOS EN LA PROGRESIVA 06+050	161
FIGURA 59	VISTA DEL DESLIZAMIENTO EN LA PROGRESIVA 14+230	161
FIGURA 60	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 03+100, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	170
FIGURA 61	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 03+100, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	171
FIGURA 62	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 05+480, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	171
FIGURA 63	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 05+480, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	172
FIGURA 64	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 05+890, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	172
FIGURA 65	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 05+890, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	173
FIGURA 66	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 06+260, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	173
FIGURA 67	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 06+260, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	174
FIGURA 68	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 06+600, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	174
FIGURA 69	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 06+600, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	175
FIGURA 70	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 08+445, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.	175
FIGURA 71	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 08+445, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	176
FIGURA 72	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 08+670, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	176
FIGURA 73	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 08+670, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	177
FIGURA 74	MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 10+890, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	177

FIGURA 75 MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 10+890, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	178
FIGURA 76 MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 11+720, ANÁLISIS ESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO	178
FIGURA 77 MODELAMIENTO EN SLIDE PARA EL TALUD UBICADO EN LA PROGRESIVA 11+720, ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO MÉTODO JANBU SIMPLIFICADO.....	179

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación

1.1.1 Ubicación política

La zona de estudio se localiza en la región Cusco, comprendiendo las provincias de Cusco, Anta y Urubamba, y los distritos de Poroy, Cachimayo y Chinchero. El tramo evaluado tiene una longitud de 14.674 km, con altitudes que varían entre 3318 y 3343 m s.n.m., dentro de la zona UTM 18L. El acceso se realiza desde la ciudad de Cusco mediante una vía asfaltada hasta el Arco Tica Tica (7.0 km, aproximadamente 20 minutos) y posteriormente por una vía afirmada hasta Chinchero (14.674 km, aproximadamente 1 hora), ver tabla 1 y Anexo 2 (MAPA N°01. Mapa de ubicación).

Tabla 1

Ubicación política de la zona de estudio

Región	Cusco
Provincia	Cusco, Anta y Urubamba
Distrito	Poroy, Cachimayo y Chinchero
Lugar	Sencca - Chinchero
Longitud	14 + 674 Km

1.1.2 Ubicación geográfica y UTM

Las coordenadas geográficas y UTM de la carretera Sencca – Chinchero se encuentran detalladamente en la tabla 2.

Tabla 2*Coordenadas geográficas y UTM*

Coordenadas geográficas y UTM						
Progresiva	Latitud	Longitud	Este	Norte	Altitud m.s.n.m	Zona
0+000	13°27'45.14"	72°08'58.09"	808647.2	8509924.28	3343	18 L
14+674	13°24'56.23"	72°12'13.50"	802824.664	8515186.249	3318	18 L

1.2 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realiza desde la ciudad del Cusco, tomando como referencia la puerta principal de la UNSAAC. Desde este punto, se continúa por una vía asfaltada hasta el sector del Arco Tica Tica y, posteriormente, por una vía afirmada en dirección al distrito de Chinchero.

Como alternativa de acceso, se dispone del servicio de transporte público Expreso Santiago, cuyo terminal se encuentra próximo al final del tramo en estudio, facilitando el desplazamiento hacia el área de investigación. 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 - Arco Tica Tica	7+000	20 min	Asfalto
Arco Tica Tica - Chinchero	14+674	1 hora	Afirmado

1.3 Clima

La zona de estudio se distingue por tener un clima semi seco con invierno seco en el lado oeste (frontera con Apurímac) y en la parte central (valle del río Urubamba) presenta un clima semiseco, templado a frío. La temperatura máxima oscila entre, 19,6°C (en enero) y 20,7°C (en noviembre), y la mínima, entre 4°C y 6°C en los meses de verano, y -4,6°C (en julio) a -5,5°C en los meses de invierno. La precipitación anual es de 958 mm. (SENAMHI, 2021).

1.4 Planteamiento de problema

1.4.1 Descripción del problema

En todo el mundo y especialmente en América Latina, la insuficiencia de infraestructura vial adecuada limita el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales y urbanas. En muchos países, la falta de carreteras seguras y transitables incrementa los costos logísticos, reduce la competitividad económica y dificulta el acceso a servicios básicos como salud, educación y comercio. Estas deficiencias generan un círculo vicioso de pobreza y desigualdad, particularmente en zonas rurales alejadas de los centros urbanos.

En Perú, el deterioro y la falta de mantenimiento de las carreteras representan un desafío significativo para el desarrollo nacional. La región Cusco, siendo uno de los principales destinos turísticos del país y sede del nuevo Aeropuerto Internacional de Chinchero, enfrenta una gran demanda de conectividad vial. Sin embargo, gran parte de su red vial, especialmente en zonas rurales y de conexión interprovincial, se encuentra en mal estado, lo que afecta negativamente el turismo, el comercio local y la calidad de vida

de las comunidades. Esta situación limita el acceso a servicios públicos, genera aislamiento y aumenta los costos operativos del transporte.

El tramo de la carretera departamental CU-145, que conecta localidades como Chinchero, Sencca, Quispihuara y distritos aledaños de las provincias de Cusco y Urubamba, está en condiciones deficientes. El estado afirmado de la vía no cumple con las características técnicas necesarias para soportar el tránsito vehicular regular y el transporte de bienes. Las comunidades cercanas enfrentan dificultades diarias para acceder a servicios esenciales y mercados locales, situación que impacta directamente en su bienestar, productividad y salud por el exceso de polvo de la vía actual.

Siendo específicos con respecto a las deficiencias de la vía, vemos que la carretera carece de sistemas de drenaje adecuados, lo que provoca acumulación de agua, acelerando el deterioro de la superficie de rodadura y reduciendo la seguridad vial. Los habitantes de comunidades como Sencca, Quispihuara y Chinchero enfrentan dificultades para movilizarse, debiendo recorrer largas distancias a pie hacia centros educativos y de abastecimiento; pero sobre todo la principal fuente de impacto es el polvo que se genera por el tránsito vehicular sobre la superficie afirmada, afectando la salud y el bienestar de la población local, siendo los niños y ancianos de las comunidades los más vulnerables a enfermedades respiratorias causadas por la exposición constante al polvo, afectando también a los cultivos agrícolas cercanos, reduciendo su productividad y dañando la economía local.

Si el problema no se aborda, las comunidades aledañas permanecerán aisladas, lo que perpetúa su situación de vulnerabilidad social y económica. Además, el potencial turístico y comercial asociado al Aeropuerto Internacional de Chinchero no se

aprovechará plenamente, limitando los beneficios regionales y nacionales que este proyecto podría generar. Los costos de transporte continuarán incrementándose, y el acceso a servicios básicos como salud y educación seguirá siendo insuficiente, perpetuando las brechas de desarrollo en la región Cusco.

1.5 Formulación del problema

1.5.1 Problema general

¿Cuáles son las características geológicas y parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP? PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 -EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco?

1.5.2 Problemas específicos

1. ¿Cuáles son las características geológicas que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP? PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco?.
2. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP? PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco?

1.6 Variables de investigación

Las variables de investigación del presente estudio son:

- Parámetros geológicos
- Parámetros geotécnicos

Ver Anexo 1.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Determinar las características geológicas y los parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar las características geológicas que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.
- Determinar los parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.

1.8 Hipótesis

1.8.1 Hipótesis general

Las características geológicas y parámetros geotécnicos comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.

1.8.2 Hipótesis específicas

- Las características geológicas comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.
- Los parámetros geotécnicos comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.

1.9 Justificación

La presente investigación responde a la necesidad de garantizar el desarrollo cultural, económico y social en la región Cusco, a través de la mejora de la infraestructura vial de la carretera departamental CU-145, en el tramo: “Trayectoria Epm PE-28 F (Chinchero) – Piuray – Quispihuara - Sencca”. Este tramo cumple un papel esencial en la

conectividad de los distritos de Cusco y Chinchero, pero su condición actual representa un obstáculo significativo para el tránsito seguro y eficiente, afectando directamente a las comunidades aledañas. La ejecución de esta investigación resulta conveniente debido a que permitirá disponer de información geológica y geotécnica actualizada antes de la ejecución de futuras intervenciones en la vía, reduciendo incertidumbres durante las etapas de diseño y construcción.

La investigación aborda un problema prioritario para el desarrollo de la región Cusco, ya que una infraestructura vial adecuada es esencial para fomentar el turismo, dinamizar la economía local y reducir la brecha de acceso a servicios básicos en zonas rurales. Además, la construcción del nuevo Aeropuerto Internacional de Chinchero incrementará significativamente el tránsito vehicular y la demanda de vías en óptimas condiciones, lo que hace indispensable garantizar la durabilidad y seguridad de la carretera departamental CU-145. Esta vía será clave para conectar comunidades, facilitar el acceso al aeropuerto y potenciar el desarrollo económico, turístico y social de la región. En ese sentido, la investigación posee alta relevancia regional, al contribuir directamente con el desarrollo territorial sostenible, la competitividad turística y la integración económica de las poblaciones ubicadas en el área de influencia del proyecto.

La investigación es crucial debido a que la vía actual presenta un diseño deficiente y carece de sistemas de drenaje adecuados, lo que ocasiona acumulación de agua y un deterioro acelerado de la superficie de rodadura. Estas condiciones no solo afectan la calidad del tránsito, sino que también generan riesgos de seguridad para los usuarios y costos adicionales en mantenimiento y reparación. El objetivo principal es proporcionar una base técnica sólida que permita el diseño y construcción de una carretera duradera y eficiente, mediante el desarrollo de estudios geológicos y geotécnicos que evalúen el

entorno geológico, geomorfológico y estructural del área de emplazamiento. El estudio presenta un especial interés geológico debido a la complejidad geodinámica del área de influencia, donde la interacción entre la litología, las estructuras geológicas, la geomorfología y los procesos de meteorización condicionan el comportamiento geotécnico de los materiales y la estabilidad de la infraestructura vial. Su caracterización permitirá comprender los factores geológicos que controlan el desempeño de la carretera y establecer medidas de mitigación apropiadas.

Desde una perspectiva académica y científica, este estudio contribuirá al conocimiento en geotecnia vial, proporcionando datos específicos sobre las características geológicas y geotécnicas de la región. La información obtenida podrá ser utilizada como referencia en investigaciones futuras dentro de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), beneficiando a estudiantes y profesionales de Ingeniería Geológica e Ingeniería Civil, que busquen desarrollar estudios similares en áreas con condiciones geológicas comparables, validando así metodologías de análisis geotécnico y optimizando criterios de diseño en infraestructura vial dentro del contexto regional. Además, esta investigación constituye un requisito fundamental para la obtención del título profesional de Ingeniero Geólogo, contribuyendo a la formación académica y profesional de los autores.

Este trabajo permitirá definir parámetros técnicos esenciales que optimicen los recursos invertidos en la mejora y mantenimiento de la carretera. Las instituciones públicas y privadas encargadas de la gestión y construcción de infraestructura vial podrán aprovechar los resultados de esta investigación para planificar y ejecutar proyectos similares.

Aunque existen estándares técnicos para la construcción de carreteras, aún no se han establecido parámetros geotécnicos específicos para el tramo en cuestión, lo que limita la posibilidad de implementar soluciones duraderas y adaptadas a las condiciones locales. Esta investigación busca llenar ese vacío, proporcionando una base técnica que permita superar las limitaciones actuales y contribuya tanto al desarrollo práctico de la infraestructura como al avance académico en la UNSAAC. Metodológicamente, la investigación integrará estudios de campo, cartografía geológica, exploración geotécnica, ensayos de laboratorio y análisis geomecánicos, estableciendo un procedimiento que podrá ser replicado o adaptado en futuras investigaciones y proyectos de infraestructura vial desarrollados en zonas con características geológicas semejantes.

1.10 Marco referencial – teórico – conceptual

1.10.1 Marco referencial (antecedentes)

Mayta Huamán & Paredes Rodriguez, (2024). Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en la vía nacional PE-28J y vía vecinal 1156, tramo Sencca–Quispihuara–Huila Huila (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Geológicamente, identificaron depósitos cuaternarios de origen coluvial, aluvial y fluvio-glacial, conformados por gravas, arenas limosas y bloques heterométricos derivados de la meteorización de rocas sedimentarias y volcánicas. Geomorfológicamente, el área presenta superficies onduladas, colinas suaves y laderas con pendientes entre 5 % y 30 %, características que condicionan el comportamiento geotécnico de la subrasante. En el aspecto geodinámico, se reconocieron procesos de erosión hídrica, formación de cárcavas, pérdida de material en cunetas, pequeños

deslizamientos y zonas con susceptibilidad a saturación por deficiencias de drenaje. La caracterización geotécnica determinó suelos clasificados principalmente como GM, GC, SM y CL según el sistema SUCS, con valores de CBR entre 8 % y 35 %, evidenciando una capacidad portante variable.

Como resultado, los autores concluyeron que diversos sectores requerían mejoramiento de subrasante, debido a la baja capacidad de soporte y a la reducción de resistencia ocasionada por la humedad, recomendando la estabilización y reemplazo de materiales en los tramos críticos.

Este estudio aporta evidencia de que las condiciones geológicas, geomorfológicas y de drenaje influyen directamente en la capacidad portante de la subrasante y en la ocurrencia de procesos geodinámicos que afectan la transitabilidad.

Beltran Sequeiros & Huamani Puelles, (2022). Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de la carretera CU-1185, tramo Chancadora–Cruzpata, distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, Cusco (Tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco.

La investigación se desarrolló dentro de la misma unidad fisiográfica del área de estudio, correspondiente a la provincia de Urubamba. Geológicamente, se identificaron depósitos cuaternarios de origen coluvial y residual, derivados de la meteorización de rocas sedimentarias mesozoicas ampliamente distribuidas en la zona. Geomorfológicamente, el área presenta laderas moderadas a empinadas, superficies de acumulación y terrazas aluviales, destacando que las pendientes superiores a 35° evidencian mayor susceptibilidad a erosión y pérdida de estabilidad del terreno. En el ámbito geodinámico, se registraron procesos de erosión de taludes, reptación de suelos,

desprendimientos menores y deterioro progresivo de la plataforma vial durante la temporada de lluvias. Desde el punto de vista geotécnico, los ensayos de laboratorio (SUCS, AASHTO, límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR) evidenciaron valores de CBR inferiores al mínimo requerido en varios sectores, lo que determinó la necesidad de utilizar material de cantera para el mejoramiento de la subrasante.

Como resultado se propusieron mejoras geométricas, estabilización de la estructura vial y obras de drenaje destinadas a incrementar la transitabilidad y reducir riesgos asociados a procesos de erosión e inestabilidad. Este estudio constituye un antecedente importante debido a las similitudes geomorfológicas y geológicas con el tramo Chinchero–Piuray–Quispihuara–Sencca.

Este estudio aporta a la investigación dado que proporciona una metodología para la caracterización geotécnica, la identificación de sectores críticos y la selección de alternativas de mejoramiento, como el reemplazo de materiales, la estabilización de la estructura vial y la implementación de obras de drenaje, aspectos que sirven de sustento para la presente tesis.

Ttito, A. & Chacón, H. (2024). Estudio geológico y geotécnico para el mejoramiento de la transitabilidad vehicular del tramo Quellopuito–Lares (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Plantea como objetivo mejorar la transitabilidad vehicular del tramo Quellopuito a Lares, a través de una metodología basada en un enfoque cuantitativo y mixto, en una combinación descriptiva y análisis estadístico, determinó la presencia de depósitos cuaternarios (Coluviales) en una matriz limo-arcillosa, depósitos glaciares no consolidados, depósitos fluvio aluviales en una matriz limo-arcillosa y finalmente el

afloramiento de la formación Sandia compuestos por cuarcitas metareniscas con intercalación de pizarras muy alteradas. Así mismo con base en los resultados de ensayos geotécnicos en laboratorio y un CBR al 95%, se identificó los tramos más críticos que requieren mejoramiento a nivel de subrasante.

Este trabajo aporta información clave sobre la metodología de evaluación en sectores de una geología y geomorfología variable sirviendo de referencia para proyectos viales en circunstancias geológicamente similares.

1.10.2 Marco teórico

1.10.2.1 Parámetros geológicos

1.10.2.1.1 Geomorfología

Es una ciencia de la tierra que tiene su origen ligado a la geología, dentro de la que constituye el último eslabón de los estudios estratigráficos, la fase actual de la evolución del modelado de la corteza terrestre (Sala, 1984). El objetivo principal de la geomorfología es deducir los antecedentes de la superficie terrestre y, en su caso, predecir posibles configuraciones futuras. (Gilsanz, 1996).

1.10.2.1.2 Geología

Es una ciencia que estudia la Tierra, su composición, estructura y los fenómenos que (Sala, 1984) han ocurrido y ocurren en ella. Además de ser descriptiva, también es genética y evolutiva, buscando las causas de los fenómenos observados. No es puramente teórica y especulativa; al contrario, es una especialidad básica para el uso racional de los recursos naturales y su aplicación en actividades humanas. (Rivera Mantilla, 2005).

1.10.2.1.3 Geología estructural

Estudia las deformaciones de la corteza terrestre, especialmente en lo referente al modo de presentación y a las causas que las originaron. El interior de la Tierra está en constante actividad, como lo demuestran principalmente los terremotos y las erupciones volcánicas. Las fuerzas internas que causan estos fenómenos son las que ocasionan las deformaciones de las rocas. (Camargo Puerto, 2004).

Fallas: Se pueden definir las fallas como discontinuidades en rocas a lo largo de las cuales existe un desplazamiento diferencial significativo. Aunque generalmente se han formado durante etapas de deformación frágil, existen todas las transiciones entre fallas frágiles características de rocas situadas en niveles superiores de la corteza, donde el desplazamiento ha tenido lugar a lo largo de un plano de falla bien definido, y zonas de cizalla dúctil, caracterizadas por una deformación importante y rodeadas por rocas que muestran un estado deformativo menos intenso que el presentado por la zona de cizalla propiamente dicha (Babín Vich & Gómez Ortiz, 2010).

Diaclasas: son fracturas que se pueden definir como “una discontinuidad planar visible a escala mesoscópica que separa dos cuerpos rocosos sin que se aprecie un movimiento de cizalla” (Fossen, 2016) y son el producto de esfuerzos tensionales.

1.10.2.1.4 Geodinámica

Es una disciplina de las ciencias geológicas, su metodología nos permite comprender como ocurren los fenómenos, cuáles son las causas y factores que los generan, las condiciones en que se desarrollan y finalmente, sus efectos sobre el globo terrestre. (Rivera Mantilla, 2005)

Geodinámica interna: Comprende los fenómenos producidos en el interior de la tierra, entre ellos los más importantes son las erupciones volcánicas, los terremotos y los movimientos de las placas tectónicas.

Geodinámica externa: Son todos aquellos fenómenos que participan en la evolución del modelado de la superficie terrestre, como resultado de la interacción de agentes geodinámicos (agua, sol, gravedad, viento, organismos vivos), que pueden ser percibidos por el hombre, (Rivera, 1991).

1.10.2.2 Parámetros geotécnicos

1.10.2.2.1 Caracterización físico – mecánica

- Granulometría

Es una técnica ampliamente utilizada para caracterizar la distribución de tamaños de partículas en muestras de suelo, lo cual es esencial para determinar su clasificación, propiedades mecánicas y geotécnicas (American Association of State Highway and Transportation Officials, 2021). Este estudio puede realizarse mediante el método de tamizado, que es el enfoque principal de este artículo, o por sedimentación para partículas muy pequeñas (Barahona, Ovando, & Araya, 2021).

- Límites de consistencia

Límite Líquido (LL): El contenido de humedad, en porcentaje, necesario para cerrar una distancia de 12.7 mm a lo largo de la parte inferior de la ranura después de 25 golpes se define como el límite líquido. El procedimiento para la prueba de límite líquido dada en ASTM es la Designación ASTM D-4318 (Braja M., 2013)

Límite Plástico (LP): se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que el suelo al enrollarse en hilos de 3.2 mm de diámetro se desmorona. El límite

plástico es el límite inferior del escenario plástico del suelo. La prueba es simple y se realiza mediante rodados repetidos por parte de una masa de tierra de tamaño elipsoidal sobre una placa de vidrio esmerilado. (Braja M., 2013)

- Capacidad portante

Es la capacidad de un suelo para soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones o fallas estructurales significativas. Se realizan pruebas tanto en campo como en laboratorio para evaluar esta capacidad, como ensayos de carga y análisis de las propiedades mecánicas y físicas del suelo (Ocrospoma Callupe & Rocha Sandoval, 2024)

1.10.2.2.2 *Transitabilidad vial interurbana*

Se refiere a la capacidad de las vías que conectan distintas localidades urbanas y rurales para permitir un flujo vehicular seguro y eficiente durante un periodo determinado. Este concepto es fundamental en la planificación y gestión de la infraestructura vial, ya que garantiza la conectividad y el desarrollo económico y social de una región. En el marco normativo peruano, la Ley General de Transporte y Tránsito Terrestre (Ley N° 27181) establece los lineamientos generales para la regulación del transporte y tránsito en el país. Asimismo, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial (D.S. N° 034-2008-MTC) establece criterios para la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial, asegurando su correcto funcionamiento. Además, la Guía de Vialidad Interurbana a Nivel de Perfil, publicada por el Ministerio de Economía y Finanzas, enfatiza la importancia de garantizar la transitabilidad y la seguridad en las vías interurbanas. Aunque la normativa peruana no define explícitamente el término, estos documentos establecen parámetros para asegurar que las carreteras interurbanas cumplan con las condiciones necesarias para permitir el tránsito seguro y continuo de vehículos.

1.10.2.2.3 Características de la vía Chinchero-Sencca

La zona del proyecto presenta una geografía, moderadamente accidentada por lo que el conocimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas permitirán optimizar un adecuado diseño vial, así como una estimación económica respecto al tipo de materiales que serán cortados durante los trabajos de apertura de la vía.

Siendo así que la vía Chinchero - Sencca es de segunda clase con una velocidad de diseño de 30 km/h en zonas urbanas y 40 km/h en zona rural, presentamos a continuación un cuadro resumen de las características y parámetros de diseño.

Tabla 4

Resumen de Las características y parámetros de diseño

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA VÍA		
PARÁMETRO	ZONAS	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
LONGITUD DE VIA	5.900km	8.774 km
CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	CU-145 (PE-28B)	CU-145 (PE-28B)
CLASIFICACIÓN DE LA VÍA SEGUN DEMANDA	CARRETERA DE SEGUNDA CLASE	CARRETERA DE SEGUNDA CLASE
CLASIFICACIÓN TIPO DE OROGRAFIA	TERRENO ONDULADO y ESCARPADO (TIPO 2 y 4)	TERRENO ONDULADO y ESCARPADO (TIPO 2 y 4)
VEHÍCULO DE DISEÑO	C2	C2
VELOCIDAD DE DISEÑO	30 KM/H	40 KM/H
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN BAJADA	3%(87m), 6%(92m), 9%(97m)	3%(50m), 6%(50m), 9%(53m)
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA EN SUBIDA	3%(80m), 6%(77m), 9%(75m)	3%(45m), 6%(44m), 9%(43m)
DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PASO O ADELANTAMIENTO	410 m	270 m
RADIOS MINIMOS DE CURVAS CIRCULARES	30	50
SOBRE ANCHO	$Sa = n \left(R_c \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$ Dónde: - Sa : Sobreancho (m) - n : Número de carriles - R_c : Radio de curvatura circular (m) - L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m) - V : Velocidad de diseño (km/h)	$Sa = n \left(R_c \sqrt{R_c^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$ Dónde: - Sa : Sobreancho (m) - n : Número de carriles - R_c : Radio de curvatura circular (m) - L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m) - V : Velocidad de diseño (km/h)
PENDIENTE MÍNIMA	0.5 % y minima excepcional de 0.35%	0.5 % y minima excepcional de 0.35%
PENDIENTE MÁXIMA	8%	8%
CURVAS VERTICALES CONVEXAS	DIST. DE VISIBILIDAD DE PARADA:85m INDICE DE CURVATURA:11	DIST. DE VISIBILIDAD DE PARADA:50m INDICE DE CURVATURA:3.8
CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS	DIST. DE VISIBILIDAD DE PARADA:85m INDICE DE CURVATURA:18	DIST. DE VISIBILIDAD DE PARADA:50m INDICE DE CURVATURA:9
ANCHO DE CALZADA EN TANGENTE	6.60m	6.60m
ANCHO DE CARRIL EN TANGENTE	3.30m	3.30m
NUMERO DE CARRILES	2 carriles	2 carriles
BERMAS	0.60 m	0.60 m
BOMBEO	2.50%	2.50%
PERALTE	8% maximo	8% maximo
DERECHO DE VIA O FAJA DE DOMINIO	16 m	20 m
FAJA DE PROPIEDAD RESTRINGIDA	5.00 m	5.00 m
TALUDES	Material Suelto:1:2 (H:V) Roca Suelta:1:4 (H:V) Roca Fija:1:10 (H:V)	Material Suelto:1:2 (H:V) Roca Suelta:1:4 (H:V) Roca Fija:1:10 (H:V)
RELLENOS	Material Suelto:1:1.5 (H:V) Roca Suelta:1:1.5 (H:V) Roca Fija:1:1.5 (H:V)	Material Suelto:1:1.5 (H:V) Roca Suelta:1:1.5 (H:V) Roca Fija:1:1.5 (H:V)
CUNETAS	cunetas revestidas a lo largo de toda la via	cunetas revestidas a lo largo de toda la via

Nota. Adaptado del Estudio geológico geotécnico (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024)

1.10.2.2.4 Estabilidad de taludes

Durante su estudio se abordan fenómenos de estado último o de rotura de masas de suelo. El agente externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa, el peso y eventualmente, los efectos de filtración, a los cuales hay que añadir otros factores como las sobrecargas (estáticas/dinámicas), (Valiente Sanz, Sobrecases Martí, & Díaz Orrego, 2015).

1.10.3 Marco conceptual

Coefficiente 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 (Bishop, 1955).

Roca de basamento: Se describe como el “conjunto de materiales consolidados, provenientes de la solidificación del magma, consolidaciones y diagénesis de los materiales producto de la erosión y recristalización de las rocas pre-existentes (Dávila Burga, 2006).

Suelo: Según el Diccionario Geológico de Jorge Dávila B, (2006), se define como suelo a la “cobertura superficial de la corteza terrestre producto de la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. La formación del suelo implica la meteorización química de los minerales primarios dando lugar a nuevos minerales “.

1.11 Metodología, materiales, equipos y etapas de investigación

1.11.1 Metodología

La metodología de la investigación adopta un **enfoque cualitativo**, orientado a lograr una comprensión integral del terreno en su ambiente natural. Según **Hernández-Sampieri et al. (2014)**, el proceso cualitativo es flexible y se mueve entre los eventos y su interpretación para reconstruir la realidad de forma inductiva; bajo esta premisa, la identificación de la litología, estructuras geológicas y procesos geomorfológicos se realizará mediante observaciones de campo e interpretación de mapas.

Por otra parte, los parámetros geotécnicos (contenido de humedad, resistencia al corte, capacidad portante, etc.) se integrarán como **descripciones detalladas de situaciones técnicas** para especificar las propiedades y perfiles del suelo en su contexto específico. Al respecto, **Hernández-Sampieri et al. (2014)** señalan que en la ruta cualitativa los datos se capturan para entender la naturaleza, carácter y atributos del fenómeno, permitiendo que el análisis proporcione una **riqueza interpretativa** que trasciende la simple medición numérica. De este modo, los resultados de los ensayos de laboratorio y análisis de campo sirven como evidencia para describir profundamente el estado de la vía sin pretender la generalización probabilística de los resultados.

1.11.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación se define como de tipo **básica y aplicada**. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la investigación científica cumple dos propósitos fundamentales: producir conocimiento y teorías (investigación básica) y resolver problemas (investigación aplicada)

Bajo esta premisa, el estudio es de carácter básico debido a que busca generar conocimiento teórico sobre la influencia de los parámetros geológicos y geotécnicos en la transitabilidad vial interurbana, aportando información científica sobre las condiciones del suelo y su impacto en la infraestructura. Simultáneamente, es una investigación aplicada ya que, tal como señalan Hernández-Sampieri et al. (2014), este tipo de estudio se orienta a la resolución de problemas específicos y concretos; en este caso, el análisis del tramo vial CU-145 (Chinchero – Sencca) para identificar factores que afectan la transitabilidad y generar soluciones útiles para la toma de decisiones en la mejora de la vía.

1.11.1.2 Método de investigación

El nivel de la investigación es **descriptivo**, ya que el estudio busca caracterizar las características geológicas y parámetros geotécnicos que afectan la transitabilidad vial. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), los estudios descriptivos tienen como finalidad especificar las propiedades, características y perfiles de personas, procesos u objetos que se someten a un análisis. Bajo esta premisa, la investigación se centra en describir las variables geológicas y geotécnicas presentes en el tramo vial, como litología, inclinación de taludes, condiciones de los suelos y procesos erosivos para proporcionar un panorama preciso del fenómeno estudiado.

1.11.1.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es **no experimental y transversal**, orientado a observar los parámetros geológicos en su entorno natural. Según Hernández-Sampieri et al. (2014), la investigación no experimental se define como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables; es decir, se trata de estudios donde no se hace variar intencionalmente la variable independiente, sino que se observan los fenómenos tal

como se dan en su contexto para analizarlos. Bajo esta premisa, el estudio no alterará los parámetros geológicos ni las condiciones de la vía, limitándose a la recolección de datos existentes.

Asimismo, el diseño posee un carácter **transversal (o transeccional)**. Al respecto, Hernández-Sampieri et al. (2014) señalan que estos diseños tienen como propósito recolectar datos en un solo momento, en un tiempo único, con el fin de describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un punto específico del tiempo. Por tanto, la observación y recopilación de los factores geotécnicos y de transitabilidad en el tramo vial CU-145 (Chincheró – Sencca) se realizará en un periodo determinado para caracterizar con precisión los factores que lo afectan actualmente.

1.11.2 Período de ejecución de la investigación

La presente investigación se ejecutó a fines del año 2024, desarrollándose entre los meses de octubre y diciembre de 2024. Durante este período se llevaron a cabo las actividades de recopilación de información bibliográfica, reconocimiento geológico-geotécnico del área de estudio, trabajos de campo, ensayos de laboratorio, procesamiento e interpretación de resultados, así como la elaboración de la documentación técnica correspondiente.

1.11.3 Materiales y equipos

1.11.3.1 Materiales de trabajo

- Material de oficina
- Planos
- Pizarras
- Marcadores / rotuladores
- Bolsas de muestreo

- Libreta de campo

1.11.3.2 Equipos de trabajo

- Computadoras
- Impresoras
- Calculadoras
- Programas de procesamiento (ARCGISS, AUTOCAD, EXCEL)
- Dispositivo de navegación y ubicación

1.11.4 Etapas de investigación

1.11.4.1 Etapa I: Trabajo 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)
- Elaboración del mapa de ubicación, accesibilidad y topográfico

1.11.4.2 Etapa II: Trabajo de campo

Trabajo de campo 01

- Mapeo geológico, geomorfológico.
- Mapeo estructural y toma de puntos GPS.
- Caracterización geomecánica de macizos rocosos mediante ventanas estructurales.

Trabajo de campo 02

- Identificación y toma de coordenadas GPS de calicatas
- Abertura de calicatas según, NTP 339.
- Obtención de muestras (ensacado y rotulado).

- Levantamiento de columna estratigráfica de calicatas

1.11.4.3 Etapa III: Trabajo post campo

Trabajo de laboratorio y gabinete

- Ensayos de muestras de suelos y rocas
- Análisis e interpretación de resultados de ensayos ejecutados con muestras de suelos y rocas.
- Confección de mapas geológicos, geomorfológicos a partir del mapeo obtenido en campo.
- Determinación de calidad de macizos rocosos (RMR).
- Análisis de estabilidad de taludes mediante Software Slide 6.0.
- Interpretación y correlación de datos geológicos y geotécnicos.
- Redacción de informe final de tesis.

CAPITULO II: GEOMORFOLOGÍA

2.1 Aspectos generales

El desarrollo morfogenético de la región donde se encuentra inmersa el área de estudio se caracteriza por ubicarse en las unidades morfoestructurales regionales: Cordillera Oriental, Altiplano y la Cordillera Occidental, además se cuenta con unidades locales dentro de cada una de las unidades regionales.

2.1.1 Pendientes del terreno

Se toma en cuenta el área de influencia dentro del eje de la vía, del mapa de pendientes se determina que el 22% del área presenta relieve con pendientes planas a ligeramente inclinadas (0-5°), aproximadamente otro 40% tiene pendientes moderadas (5-15°), mientras que el 21% corresponde a zonas con pendientes inclinadas o fuertemente onduladas (15-25°), el 11% presenta pendientes escarpadas (25-35°), las pendientes de terreno muy escarpado o abrupto (mayor a 35°), ocupan solo el 6% y corresponden a los cauces de las quebradas y las laderas cercanas. Para la clasificación de las pendientes se tomó de referencia los rangos utilizados por parte del INGEMMET. Revisar Anexo 2 (MAPA N°03. Mapa de pendientes)

2.1.1.1 Pendiente plano a ligeramente inclinado (0-5°)

Esta categoría corresponde a superficies de relieve suave con escasa variación topográfica, desarrolladas principalmente sobre sectores relativamente planos de la meseta de Chinchero y áreas adyacentes a la laguna Piuray. Se caracterizan por presentar una baja energía del relieve, condiciones favorables para la infiltración y escasa susceptibilidad a procesos erosivos y movimientos en masa.

2.1.1.2 Pendiente moderadamente inclinado u ondulado (5-15°)

En el área de estudio constituyen una de las unidades más extensas, permitiendo el desarrollo de la vía con condiciones geomorfológicas generalmente favorables, aunque requieren obras de drenaje para evitar la concentración de aguas superficiales y la erosión progresiva de la plataforma. Estas pendientes corresponden a laderas de transición y superficies erosionadas de origen denudacional donde predominan procesos de escorrentía superficial de baja a moderada intensidad.

2.1.1.3 Pendiente inclinado o fuertemente ondulado (15-25°)

Esta unidad se desarrolla principalmente en laderas intermedias y zonas de transición hacia quebradas. Presenta un relieve más accidentado, caracterizado por una mayor disección del terreno y una mayor capacidad erosiva de las aguas de escorrentía. En estos sectores pueden producirse procesos de erosión en surcos, cárcavas y pequeños flujos de tierra, especialmente durante la temporada de lluvias.

2.1.1.4 Pendiente escarpado (25-35°)

Corresponde a laderas de fuerte inclinación asociadas principalmente a márgenes de quebradas, taludes naturales y zonas de intensa erosión. Estas pendientes presentan una mayor susceptibilidad a procesos de geodinámica externa, tales como deslizamientos, derrumbes, erosión y caída de material suelto. En la vía Chinchero–Piuray–Quispihuara–Sencca, algunos de estos sectores constituyen zonas críticas para la estabilidad de la carretera, requiriendo medidas de protección, drenaje y estabilización de taludes.

2.1.1.5 Pendiente muy escarpado o abrupto (mayor a 35°)

Esta categoría corresponde a los sectores más accidentados del área de estudio, localizados principalmente en quebradas profundas, escarpes erosivos y laderas altamente

disectadas. Debido a sus condiciones geomorfológicas y geotécnicas desfavorables, representan áreas de alta susceptibilidad a peligros geológicos que pueden comprometer de manera negativa la estabilidad de la plataforma vial.

Figura 1

Vista panorámica de geomorfología de carretera.



Nota. Se observa cruce de carretera con relieve de pendientes planas hasta escarpadas.

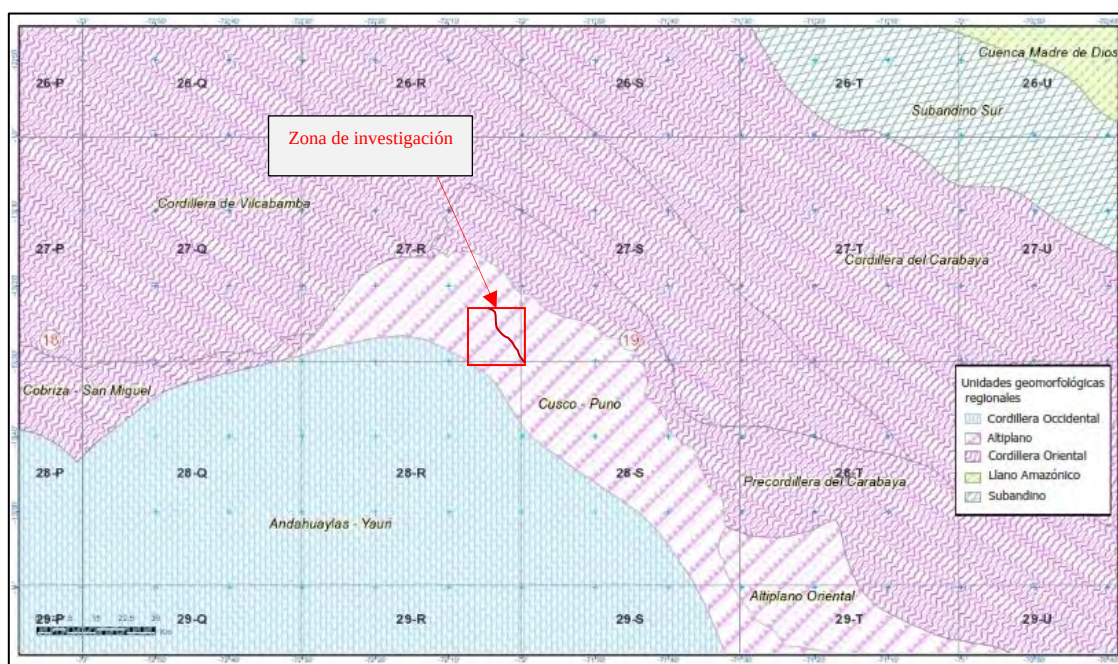
2.2 Geomorfología regional

2.2.1 Cordillera Oriental

La cadena montañosa oriental se encuentra al NO de la sección de la carretera, dicha cadena montañosa es una morfoestructura controlados por importantes fallas regionales en dirección NO-SE, siendo parte del sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo. Litológicamente está constituida por Pizarras y esquistos pizarrosos, el límite con el Altiplano es relativamente bajo que puede alcanzar un promedio de 3200 m.s.n.m. (Carlotto Caillaux, Cárdenas Roque, & Carlier, 2011).

Figura 2

Unidades geológicas regionales y ubicación de zona de investigación.



Nota. Adaptación a partir de información cartográfica del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2023).

2.2.1 Cordillera Occidental

La cadena montañosa occidental se encuentra al SE de la sección de la carretera, esta morfoestructura corresponde a sectores con relevos variables que alcanza los 4 000 msnm, en sectores se muestra una superficie abrupta como consecuencia del corte geomorfológico producido por ríos de Velille y Apurimac. Litológicamente están conformadas por Calizas de la formación Arcurquina y Areniscas de la formación Hualhuani. (Carlotto Caillaux, Cárdenas Roque, & Carlier, 2011).

2.2.2 Altiplano

Unidad geomorfológica en el que se encuentra la carretera como zona de investigación, limita al sur con el borde NE de la cordillera occidental y al norte con la

cordillera oriental, en la presente morfoestructura afloran rocas mesozoicas de poco espesor, sin embargo, las capas rocas del terciario son muy potentes. (Carlotto Caillaux, Cárdenas Roque, & Carlier, 2011). Revisar Anexo 2 (MAPA N°05. Mapa geomorfológico regional).

2.2.2.1 Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

Las Montañas en roca sedimentaria son una cadena de cumbres altas que se hallan al norte de las Altiplanicies, al límite con la Cordillera Oriental. Dentro del Cuadrángulo de Urubamba se ubica en la parte oriental y se prolonga hacia la provincia de Calca. Estas montañas como el Sencca (4,423 msnm) se han desarrollado sobre las areniscas y limolitas del Grupo San Jerónimo, las que se hallan plegadas.

Las Montañas en roca sedimentaria, se hallan separadas cerca de la laguna de Piuray por la prolongación de la Pampa de Piuray-Maras. Su límite norte es directamente con la Cordillera Oriental mediante una falla NO-SE, o a través de algunas mesetas intermedias. Su límite sur es con la Meseta de Sacsayhuamán mediante la Falla Tambomachay.

2.2.2.2 Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Estas geoformas se ubican al oeste del área de estudio, esta forma de relieve litológicamente está compuesta por rocas sedimentarias reducidos por procesos denudativos. Se caracterizan por presentar laderas disectadas y de pendientes moderada a baja.

2.2.2.3 Vertiente o piedemonte aluvial (V-al)

Se trata de un relieve algo plano que se halla a una altura mayor que la depresión de Anta, variando entre 3,600 y 3,750 msnm. Esta unidad limita al norte con el río

Urubamba a través de una ladera escarpada en la parte oriental y una pendiente suave en el sector occidental. Al este limita con las Montañas del Cusco por intermedio de fallas N-S los que muestran reactivaciones cuaternarias y holocenas. Al sur limita con la Depresión de Anta y lo hace de una manera progresiva. Al oeste, el límite es con las Montañas de Huayanay, a través del valle del río Huarcocondo. Esta Pampa está rellena por secuencias caóticas, con grandes bloques, de la Formación Chincheros de posible edad Pliocena y por series fluviolacustres del Pleistoceno de la Formación San Sebastián. Además, en la Pampa de Piuray Maras afloran lutitas, calizas y evaporitas del Grupo Yuncaypata.

En esta unidad se ubican las lagunas de Piuray y de Huaypo, que muestran en las fotografías aéreas, un retroceso, particularmente la Laguna de Piuray que abastece de agua a la ciudad del Cusco.

2.2.2.4 Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se forma por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes (5°-25°). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos.

2.3 Geomorfología local

2.3.1 Montaña

2.3.1.1 Vertientes Montañosas - Montaña en roca sedimentaria (V-m)

Son superficies de origen agradacional, desarrollado en la zona de vertientes montañosas, en conjunto son el resultado de las acumulaciones hidrogravitacionales de corrientes relativamente antiguas, en detalle la topografía de estas morfoestructuras tiene ondulaciones y escalonamientos que se extienden hacia la zona de mayor pendiente de las montañas circundantes y disecciones que afectan la superficie dándole una pendiente aproximada de 15 a 25%.

Por estas pendientes que son ya significativas, las condiciones de mal drenaje resultan poco comunes, quedando únicamente en sectores muy localizados. En el sector montañoso que caracteriza este tramo, las terrazas medias aparecen ampliamente, constituyen sectores irregulares apreciables en el contexto montañoso regularmente erosivo.

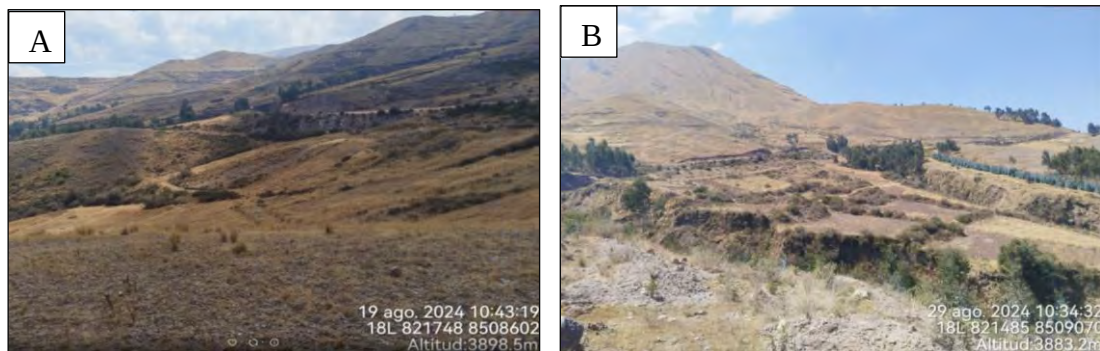
La litología que caracteriza a esta geoforma; están constituidos por suelos de depósitos deluviales y coluviales en forma de capas de gravas areno - limosas correspondiente a antiguos eventos geodinámicos, el sorting es malo, la forma de las gravas es sub redondeados a redondeadas, los bloques son de hasta 1.00 mts de diámetro, la naturaleza de los clastos corresponde areniscas, microconglomerados, etc.

La carretera se asienta en esta sub unidad discontinuamente en sectores aislados con problemas de erosión y cárcavamiento debido al discurrimiento estacional de las aguas pluviales.

La vía atraviesa esta morfoestructura en las progresivas siguientes: Km. 03+500 – 04+250, Km. 04+300 – 04+470, Km. 04+530 – 05+500, Km. 05+600 – 05+750, Km. 05+900 – 06+600, Km. 06+900 – 07+100, Km. 07+250 – 07+960, Km. 08+050 – 08+830, Km. 09+000 – 09+200, Km. 09+300 – 10+150, Km. 10+200 – 10+540.

Figura 3

Vista de geomorfología predominante caracterizado por vertientes montañosas



Nota. (A) Vertientes montañosas localizadas en el sector occidental del área de estudio. (B) Vertientes montañosas y laderas disectadas observadas en el sector oriental del área de estudio.

2.3.2 Lomadas

2.3.2.1 Lomada en roca sedimentaria

Con esta denominación se da a elevaciones de terrenos de 30 a 100 m de altura de la base a la cima y pendientes 15 – 25%. Estas unidades son en su mayoría de origen denudacionales excepcionalmente agradacional por deposiciones pliocuaternarias. Estas unidades se encuentran en su mayoría por debajo de la zona de vertientes montañosas, conformando pequeñas elevaciones onduladas separadas por bandas de terreno plano formadas por acumulaciones hidrogravitacionales y llanos. Las zonas varían un poco su paisaje, tanto por su altura como por la cantidad de cursos de agua que la atraviesan,

hecho que a su vez depende de los factores litológicos estructurales y de las características de la erosión.

El eje de la vía atraviesa esta morfoestructura en las progresivas siguientes: Km. 00+000 – 01+000, Km. 02+060 – 03+500.

Figura 4

Geomorfología del terreno caracterizada por lomadas en rocas sedimentarias



Nota. Vista panorámica de la unidad geomorfológica tipo lomadas, caracterizada por un relieve suavemente ondulado en el área de estudio.

2.3.2.2 Lomadas fuertemente disectadas

Estas unidades geomorfológicas están conformadas por depósitos de las formaciones Maras y Chinchero, formando depósitos residuales con abundancia de limos arenosos de color pardo amarillo y blanquecino, la altura a la cima oscila en 80 y 300 m desde la base con pendientes de 25 a 50%. Estas unidades son muy características en las imágenes satelitales y zonas panorámicas, donde las direcciones de las estructuras tienen una dirección NO – SE, estas unidades se presentan en sectores próximos a la zona de vertientes con cambios de pendiente y altura para entrar directamente a un relieve

ondulado. La configuración hídrica en esta unidad en sus inicios es semirectangular pasando luego a dendríticos, formando sistemas erosionales apreciables a lo largo de la vía Sencca - Chinchero,

Esta morfoestructura es atravesada por la vía en las progresivas progresivas Km. 10+670 – 10+840, Km. 10+900 – 13+600, Km. 13+730 – 14+300, Km. 14+440 – 14+674.

Figura 5

Geomorfología del terreno caracterizada por lomadas fuertemente disectadas



Nota. Vista panorámica de la unidad geomorfológica de lomadas fuertemente disectadas identificada en el área de estudio.

2.3.3 Llanuras

2.3.3.1 Llanura Lacustre (Pl-la)

Esta morfoestructura conforma las áreas más próximas a la laguna de Piuray, formando las zonas proximales de pequeños afluentes estacionales. Alcanzan alturas de hasta 5 m sobre el nivel de la laguna, siendo sus materiales predominantes suelos finos orgánicos de arenas y limos. Parte de ésta morfoestructura son cubiertas por el agua en épocas de crecidas máximas extraordinarias, conformando parte de las llanuras de

inundación, Presentan una topografía de baja pendiente entre $5 - 10^\circ$ y depresionada, que recibe el drenaje de las tierras circundantes ya sea de lluvia, las mismas que al quedar estancadas por su mal drenaje, hace que el terreno presente bajas propiedades físicas y mecánicas frente a la aplicación de cargas externas. A lo largo de la vía esta morfoestructura se ubica en las progresivas Km. 01+000 – 02+060.

Figura 6

Vista satelital del sector de llanura lacustre en el área de estudio



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2026). Imagen satelital del área de estudio ubicada sobre una llanura lacustre, unidad geomorfológica asociada a procesos de sedimentación de materiales finos.

2.3.4 Quebradas

Estas morfoestructuras conforma zonas de debilidad tectónica, sobre lo ríos estacionales han formado depresiones longitudinales con flancos empinados, atravesando las zonas de vertientes montañosas y la depresión andina, presenta pendientes laterales empinadas comprendidas entre $37^\circ - 55^\circ$. Presentan pequeños cursos de aguas estacionales sobre los cuales se forman depósitos fluviales y coluviales de bolones,

bloques y gravas provenientes de rocas fracturadas como: calizas, areniscas, granodioritas, etc. Sobre estas morfoestructuras, los procesos geodinámicos son reactivados en época de intensa precipitación pluvial, formando sistemas erosionales de cárcavas y erosión laminar. En conjunto estos sectores requieren tratamiento mediante la conformación de rellenos controlados para evitar el incremento del proceso de erosión lateral que podría afectar la vía.

A lo largo de la vía esta morfoestructura es intersectada en las siguientes progresivas Km. 01+900 – 01+910, Km. 04+250 – 04+300, Km. 04+470 – 04+530, Km. 05+500 – 05+600, Km. 05+850 – 05+900, Km. 06+600 – 06+900, Km. 07+150 – 07+300, Km. 07+960 – 08+050, Km. 08+830 – 08+960, Km. 09+200 – 09+300, Km. 10+150 – 10+200, Km. 10+420; Km 10+670, Km. 10+840 – 10+900, Km. 13+600 – 13+730, Km. 14+200 – 14+340.

Figura 7

Vista panorámica de quebrada en el área de estudio



Nota. Vista de una quebrada activa presente en el área de estudio, donde se evidencian procesos de erosión y socavación asociados al flujo concentrado de aguas pluviales.

CAPITULO III: GEOLOGÍA

3.1 Aspectos generales

En este capítulo describiremos en conjunto las unidades estratigráficas litológicamente para lo cual la metodología será realizar un análisis litológico según las propiedades físicas y mineralógicas, correlacionar e interpretar su disposición en la naturaleza. En el sector de estudio la geología aparentemente tiene inicio con la litología del grupo Yuncaypata del periodo cretácico inferior, continúa el paleógeno, Neoceno y toma su forma final en el Cuaternario con depósitos coluvio-aluviales caóticos. Revisar Anexo 2 (MAPA N°07. Mapa geológico regional)

3.2 Geología regional

3.2.1 Mesozoica - cretácico inferior

3.2.1.1 Formación Maras (Kis-ma3)

Se ha considerado como Formación Maras a todos los afloramientos sean estratificados o caóticos de yesos y lutitas que aparecen dentro del Grupo Yuncaypata, incluidos los yesos que han sufrido removilizaciones por efectos tectónicos y diapíricos. Es por esta razón que en el mapa geológico esta unidad aparece cartografiada cortando de manera irregular a rocas de edades más jóvenes. (Carlotto et al., 1996).

La Formación Maras está compuesta básicamente por mezclas de yesos y lutitas rojas y más escasamente lutitas verdes y algunos niveles de calizas de espesores delgados (3 a 7 metros) o calizas más gruesas que en realidad corresponden a las calizas deslizadas de la Formación Ayabacas. Las lutitas parecen ser de origen lacustre, los yesos de sabkha y las calizas marinas de muy poca profundidad. En la mayoría de los casos, las relaciones de contacto indican su emplazamiento por efectos de diapirismo o tectónico, como se

aprecia en las fallas en el límite Altiplano-Cordillera Oriental, o en Occopata, donde corta el anticlinal del mismo nombre.

3.2.2 Mesozoica - cretácico superior

3.2.2.1 Formación Ayabacas (Kis-ayb3)

La Formación Ayabacas o Calizas Yuncaypata (Kalafatovich, 1957) aflora también de manera disarmónica o caótica. Estas calizas no aparecen en muchas secciones estratigráficas del Grupo Yuncaypata, mientras que en otras lo hacen de manera abundante como resultado de deslizamientos sinsedimentarios, tal como se observa al norte de Acomayo y de Cusco. Está compuesta por calizas que se hallan frecuentemente dolomitizadas; sin embargo, se ha podido reconocer facies margosas gris oscuras, facies mudstone bioturbadas o no, facies wackestone-packstone más o menos bioclásticas, y menos frecuentemente facies grainstone con oolitos de bioclastos o granos de cuarzo. Algunas facies aparecen con figuras de emersión (disolución), con aspecto de brechas y figuras de estructuras de tipo slump.

3.2.3 Cenozoico paleógeno eoceno

3.2.3.1 Formación Kayra (peo-k3) – Grupo San Jerónimo

La Formación Kayra (Córdova, 1986) aflora ampliamente al sur de la ciudad del Cusco, donde forma parte del sinclinal de Anahuarqui y anticlinal de Puquín, al oeste. Igualmente lo hace en el sinclinal de Ancaschaca, en Yaurisque-Paruro, en el sinclinal de San Lorenzo y en el sector de Cusibamba-Sanka.

Está esencialmente constituida por areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas. Este conjunto se desarrolló en un medio fluvial entrelazado y llanura de inundación. La parte media-superior es más gruesa y está compuesta por

areniscas y microconglomerados con clastos volcánicos y cuarcíticos de un medio fluvial altamente entrelazado. Hacia el sur las facies se hacen más gruesas y aparecen los conglomerados.

3.2.4 *Cenozoico neógeno plioceno*

3.2.4.1 Formación Chinchero (Np-cc3)

La Formación Chinchero (Cabrera, 1988) o Pumamarca (Córdova et al., 1994) aflora en la ladera norte del valle de Cusco, donde sobreyace a las formaciones Maras y Ayabacas. Debido a su composición litológica y color, esta formación a veces se confunde con la parte caótica y deformada de la Formación Maras.

La Formación Chincheros por su composición litológica y color es a veces confundida, con un conjunto caótico bastante deformado del Grupo Yuncaypata. Está constituida de brechas que tienen una matriz arcillo-arenosa. En general, los diferentes elementos clásticos que componen la Formación Chincheros provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata, es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores.

Esta unidad reposa sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular sobre el Grupo Yuncaypata (alrededores de la laguna de Huaypo y localidad de Chincheros) y sobre las Capas Rojas del Grupo San Jerónimo (localidad de Sencca).

3.2.5 *Cenozoico cuaternario pleistoceno*

3.2.5.1 Formación San Sebastián (Qp-ss3)

La Formación San Sebastián fue definida por Gregory (1916) en la Depresión de Cusco, donde sobreyace al basamento Cretácico y Terciario, así como a la Formación Chinchero. Esta unidad está caracterizada por formar dos secuencias (Cabrera, 1988): la primera, grano decreciente, está constituida por secuencias de areniscas fluviales de

canales entrelazados deltaicos, y lutitas lacustres o palustres. Niveles diatómicos y calcáreos caracterizan la parte superior. La segunda, grano creciente, está compuesta por conglomerados y areniscas de conos-terrazas fluvio-torrenciales, que indican el cierre de la cuenca. Este cierre está expuesto por la presencia de estructuras compresivas sinsedimentarias (Cabrera, 1988).

3.3 Geología local

3.3.1 Formación Ayabacas (*Kis-ayb3*)

La litología a lo largo de la vía está conformada por calizas margosas gris oscuras, con un grosor que oscila entre 1 - 5 m. Los afloramientos rocosos están cubiertos por depósitos cuaternarios de espesor variable.

En algunos casos las orientaciones de diaclasas y fracturas indican un proceso de fracturamiento que forma bloques irregulares, para su remoción será necesario el uso de maquinaria con sectores puntuales donde se empleará explosivos.

Esta formación es atravesada por la vía en las progresivas Km 5+520 – 5+650, Km. 5+680 - 5+790, km 6+580 - 6+825, km 6+910 - 7+130.

Figura 8

Afloramientos de caliza de la Formación Ayabacas en el área de estudio



Nota. (A) Detalle de afloramiento de caliza de la Formación Ayabacas, donde se observan discontinuidades y fracturamiento del macizo rocoso. (B) Vista panorámica del macizo rocoso aflorante asociado a la Formación Ayabacas en el área de estudio.

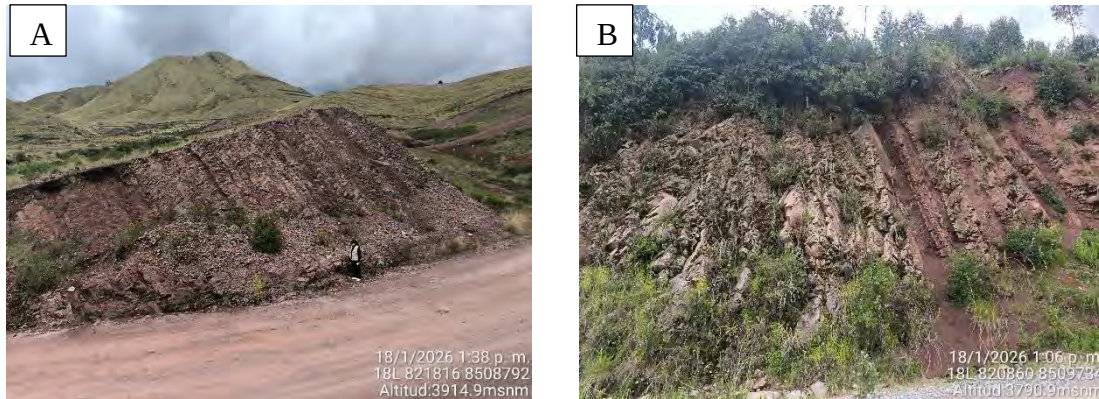
3.3.2 Formación Kayra (Peo-k3)

Constituye el basamento rocoso del área de evaluación, y dado que estas se encuentran alteradas, deformadas, falladas, fracturadas y diaclasadas, producto de la tectónica regional. Litológicamente presenta areniscas feldespáticas, intercaladas con niveles de lutitas rojas; siendo la parte media a superior más gruesa y compuesta por areniscas, micro conglomerados con clastos volcánicos y cuarcitas. Hacia el tope la formación acaba con facies arenosas. Dadas las características litológicas y a sus condiciones geomecánicas. Esta formación presenta, en algunos sectores, intensa erosión por cárcavas.

El eje de la carretera atraviesa estos afloramientos en las progresivas siguientes: Km. 07+500 - 07+980, Km. 08+010 – 08+310, Km. 08+940 – 09+220, Km. 09+240 – 09+265, Km. 09+280 – 10+170, Km. 10+210 – 10+590.

Figura 9

Afloramientos de arenisca de la Formación Kayra en el área de estudio



Nota. (A) Afloramiento de areniscas de la Formación Kayra expuesto en un corte de carretera. (B) Detalle de la estratificación y disposición estructural de las areniscas de la Formación Kayra observadas en el área de estudio.

3.3.3 Depósitos cuaternarios

Los sedimentos de edad cuaternaria que cubren a los afloramientos rocosos fueron formados por los procesos de geodinámica externa, ocurridos en la época reciente; aunque estos eventos pueden estar ligados a otros factores más complejos, los más comunes involucran la meteorización y transporte de detritos sobre la superficie topográfica. Tales detritos poseen rasgos peculiares que permiten caracterizarlos como propios de un ambiente sedimentario en particular. Así, la nomenclatura de éstos se da mediante la comprensión de su litología, granulometría, forma, tamaño, continuidad y disposición. Estos depósitos recientes se conocen como depósitos sedimentarios de edad Cuaternaria. En el área de estudio estos sedimentos se han acumulado en su mayoría por procesos geodinámicos glaciáricos, eluviales.

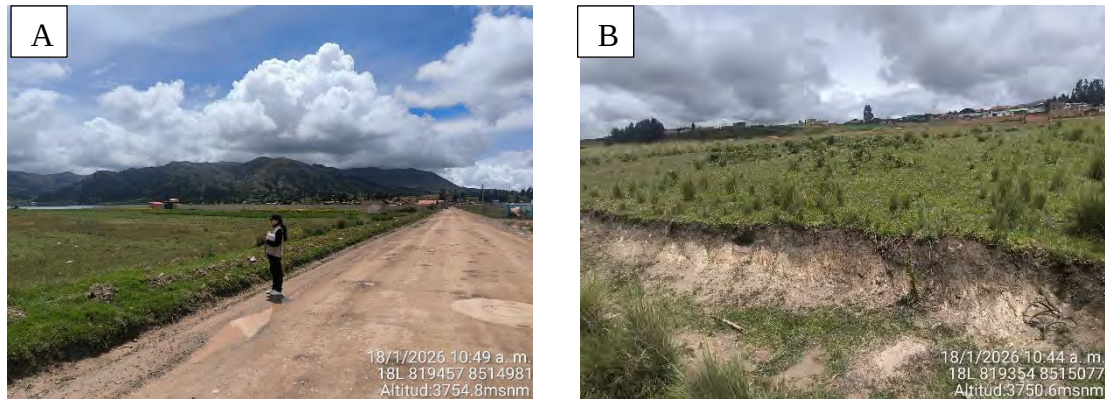
3.3.4 Depósito lacustre (Q-la)

Estos depósitos son provenientes principalmente de la laguna Piuray, en dónde los sedimentos se depositan en la zona distal y fondo de laguna, particularmente en la desembocadura de los ríos, en el cual se forman abanicos aluviales o deltas, que se extienden al interior del lago, Los suelos lacustres se forman mediante procesos de erosión y transporte, seguido de depósitos y consolidación bajo su propio peso. El comportamiento de los suelos lacustres depende de factores como lo son la composición y su estructura.

De acuerdo al sistema unificado de clasificación de Suelos (SUCS), como Limos orgánicos “ML”, y por sistema AASHTO como Suelos tipo A – 4), Geotécnicamente estos suelos son considerados como poco cohesivos y que sus propiedades físico-mecánicas está en función a los procesos de hidratación por la infiltración superficial en época de intensa precipitación pluvial. Todo este material de cobertura será removido solo con maquinaria, con taludes 1: 3 (H: V) requiriendo el uso de sistemas de subdrenaje para evitar algunos procesos de reptación de suelos. Estos materiales son encontrados en las progresivas Km. 00+000 – 03+130.

Figura 10

Vista de depósitos lacustres en el área de estudio



Nota. (A) Vista general de la unidad geomorfológica de llanura lacustre atravesada por el tramo en estudio. (B) Detalle de los depósitos lacustres constituidos por suelos finos de origen sedimentario, observados en un corte del terreno.

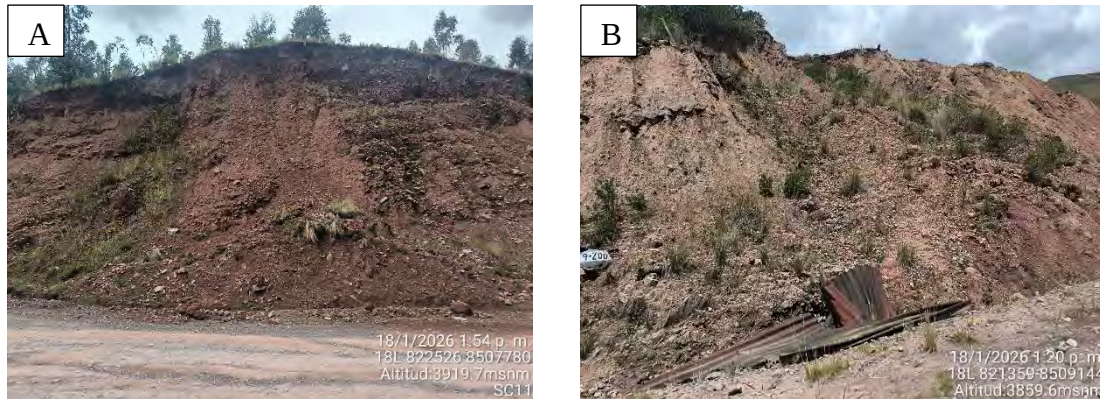
3.3.5 Coluvial (*Q-cl*)

Estos depósitos contienen bloques rocosos angulosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, acumulados al pie de taludes escarpados en forma de conos. Presencia de gravas angulosas a subangulosas con finos limosos.

Esta formación es atravesada por la vía en las progresivas Km. 8+230 – 8+260, Km. 8+310 – 8+940.

Figura 11

Depósitos coluviales identificados en el área de estudio



Nota. (A) Vista de depósitos coluviales expuestos en un talud de corte, constituidos por materiales heterométricos transportados por gravedad y acumulados en la ladera. (B) Detalle de depósitos coluviales conformados por fragmentos rocosos y matriz fina, observados en el área de estudio.

3.3.6 Depósito Coluvio-Deluvial (Q-cd)

Agrupar depósitos de piedemonte de origen gravitacional y fluvio-gravitacional, acumulados en las vertientes o márgenes del valle; en muchos casos, son resultado de una mezcla de ambos, constituyendo escombros de laderas que cubren parcialmente a los afloramientos de la Formación Kayra. En la zona del estudio, a los depósitos coluviales se les reconoce por su geometría y se originan por eventos de deslizamientos y pequeños derrumbes. En conjunto están conformados por material grueso de naturaleza heterogénea provenientes de las formaciones Kayra, maras y chincheru, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla. Los depósitos deluviales están referidos a acumulaciones de depósitos de vertiente con taludes suaves a moderados, su origen está asociado a flujos no canalizados. Se les encuentra como capas de suelo fino y arcillas arenosas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños y redondeados. De acuerdo con el recorrido

en campo y verificación en cortes de talud, estos suelos en conjunto presentan mediana compacidad.

Según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), están denominados como gravas limosas y gravas mal clasificadas limoarenosas (GM, GP – GM) y por el sistema AASHTO como suelos tipo A-2-4(0) y A-1-b (0).

Todos estos materiales en conjunto son poco cohesivos, formando taludes de baja pendiente requiriéndose solo del uso de maquinaria para su remoción, sin el uso de explosivos. Para taludes de corte final, se recomienda una relación 1:3 o 1:4 (H: V).

Esta formación es atravesada por la vía en las progresivas Km. 3+130 - 5+520, km 5+650 - 5+680, km 5+790 - 6+580, km 6+825 - 6+910, km 7+130 - 7+500, km 7+980 - 8+010, km 9+220 - 9+240, km 9+265 - 9+280, km 10+170 - 10+210.

Figura 12

Depósitos coluvio-deluvial identificados en el área de estudio



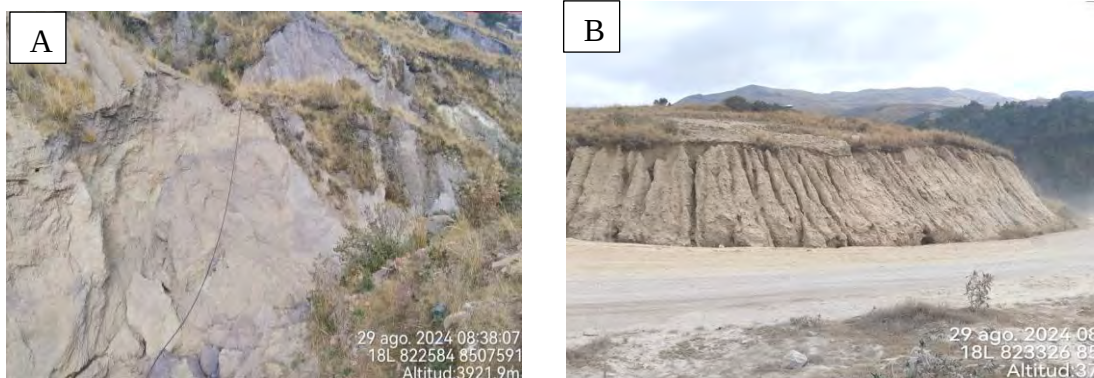
Nota. (A) Depósitos coluvio-deluviales con evidencias de cárcavas y erosión superficial desarrolladas sobre materiales de baja cohesión. (B) Corte de talud que expone depósitos coluvio-deluviales de granulometría heterogénea, susceptibles a procesos de erosión y remoción en masa.

3.3.7 Depósitos eluviales o residuales (*Q-re*)

Están compuestos por arcillas con porcentajes variables de arenas y gravas, son el producto de la meteorización in situ de areniscas, limonitas, de las formaciones maras, y chincheru, dando como resultado suelos expansibles y disgregables. De acuerdo con el sistema unificado de clasificación de Suelos (SUCS), como Arcillas plásticas “CL”, y por sistema AASHTO como Suelos tipo A – 6, Suelos Limo arenosos (SUCS: ML) AASHTO (A – 4), Geotécnicamente estos suelos son considerados como cohesivos y que sus propiedades físico-mecánicas está en función a los procesos de saturación por infiltración superficial en época de intensa precipitación pluvial. Todo este material de cobertura será removido solo con maquinaria, con taludes 1: 3 (H: V) requiriendo el uso de sistemas de drenaje superficial (Cunetas de coronación) en las zonas de mayor altura de corte. A lo largo de la vía estos depósitos se encuentran en proceso permanente de erosión y carcavamiento y se observa en las progresivas: km 10+590 al 14+674.

Figura 13

Depósitos residuales identificados en el área de estudio



Nota. (A) Exposición de depósitos residuales generados por la meteorización de la roca subyacente en el área de estudio. (B) Corte de carretera que muestra depósitos residuales de textura predominantemente fina, con evidencias de erosión superficial.

CAPITULO IV: GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1 Aspectos generales

La orogenia andina tiene sus fases en el Cretáceo superior, las cuales condicionaron principalmente cambios en el tipo de sedimentación de los ambientes marinos y continentales del momento. Así como actividades magmáticas contemporáneas; las que produjeron una deposición volcánico-sedimentaria (derrames volcánicos). El resultado del tectonismo Andino son las deformaciones posteriores de las unidades mesozoicas, las cuales conservan un rumbo andino (NO-SE) sobre imponiéndose a las estructuras hercínicas.

En la región de Cusco y particularmente en el cuadrángulo de Cusco existen varias fallas activas que han sido estudiadas en detalle por Sebrier et al. (1982) y principalmente Cabrera (1988). Estas fallas han controlado la evolución tectónica y sedimentaria pliocuaternaria de la región y particularmente de las cuencas Cusco y Ccatca. Las fallas activas se hallan en la zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental y en el límite Altiplano-Cordillera Occidental.

En el cuadrángulo vecino de Ocongate (28-t) el sistema de fallas activas se encuentra en la zona de Ausangate y Ccatca Ocongate que pasa al cuadrángulo de Cusco. En el cuadrángulo de Cusco las fallas activas de Cusco son Tambomachay, Pachatusan y Cusco, mientras que las fallas del Vilcanota son Urcos y Pomacanchis.

Según Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J. & Chávez, R., 1996. Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca. Hojas: 27-r y 27-s. INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, N° 65, 245p identifican sistemas de fallas, a partir de esa información por el km 9+000 del eje de la vía atraviesa el sistema de fallas SF Abancay

- Andahuaylas – Totos considerada como falla una falla inferida (rumbo sinistral – Inversa). Revisar Anexo 2 (MAPA N°10. Mapa geoestructural regional)

4.2 Lineamiento de falla NO – SE.

Se ha interpretado la existencia de un sistema de fallamiento de rumbo N 20 - 40° con un buzamiento hacia el sureste, posiblemente con desplazamiento normal - gravitacional y que han jugado a menudo en desgarre. Este sistema de fallamiento juntamente con los sistemas NE – SO, podrían actuar como fracturas conjugadas, correspondiendo a una deformación superficial lo que origina un plegamiento intenso.

Este sistema es apreciable en la progresiva Km. 06+500, donde los afloramientos rocosos de la formación maras (calizas) se encuentran altamente fracturadas, perdiendo continuidad, se evidencia que la zona tuvo una geodinámica activa traducido en deslizamientos y movimiento de masas de suelo.

4.2.1 Sistema de fallamiento Abancay – Andahuaylas – Totos

Es otro sistema de fallamiento interpretado cuya dirección es N 54° - 60° y un buzamiento de 65° SO es de tipo sinistral y que han jugado a menudo en desgarre, esta zona es de fallamiento activo ha originado un conjunto de deslizamientos, reptaciones, carcavamiento y erosión intensa en ambos flancos y cabecera de la zona de vertiente formando terrenos torcidos, relieves escarpados.

Este sistema de fallamiento origina un conjunto de sistemas de micro fallas y fracturas en dirección E – O, NE – SO, N – S y NO – SE, generando una deformación superficial lo que origina un intenso fracturamiento del macizo rocoso de calizas y areniscas de las formaciones Maras y Kayra.

CAPITULO V: GEODINÁMICA

5.1 Aspectos generales

A lo largo de la estructura de la vía es necesario llevar a cabo un análisis de la geodinámica interna y externa del sector de trazado de la carretera. Para ello se deberá distinguir dos agentes geodinámicos: geodinámica interna que estará influenciada por la subducción de placas y las deformaciones geológicas presentes en la zona de estudio. Por otra parte, la geodinámica externa se clasificará en función a diversos fenómenos que impactan en la carretera, considerando aspectos como el tipo de material, afloramiento rocoso, etc. Es relevante proporcionar detalles sobre la definición de geodinámica.

Se denomina geodinámica al estudio de las transformaciones que ocurren en la corteza terrestre. Dado que esta investigación se realiza en el ámbito de la geología, se brinda el alcance de las causas que originan estas transformaciones y de los efectos resultantes.

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 hace el uso de una variedad de agentes que influyen en las variaciones.

La geodinámica interna se enfatiza en las variaciones que se producen en la estructura interna de la tierra, entre ellos, los más importantes son los terremotos, sismos, desplazamiento de magma y fallas geológicas.

En cambio, la geodinámica externa tiene que ver con los cambios en la capa superficial de la tierra, Además, estos se originan a su vez por fenómenos externos como los atmosféricos, biológicos y químicos que modifican el relieve y generan el transporte de materiales geológicos.

5.2 Geodinámica interna

El límite de la costa occidental de América del Sur es una zona típica de colisión de placas, destacada por su intensa actividad desde el enfoque sismológico. El 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 genera características morfo-tectónicas predominantes de la región, como la cordillera de los Andes y la fosa oceánica peruano-chilena.

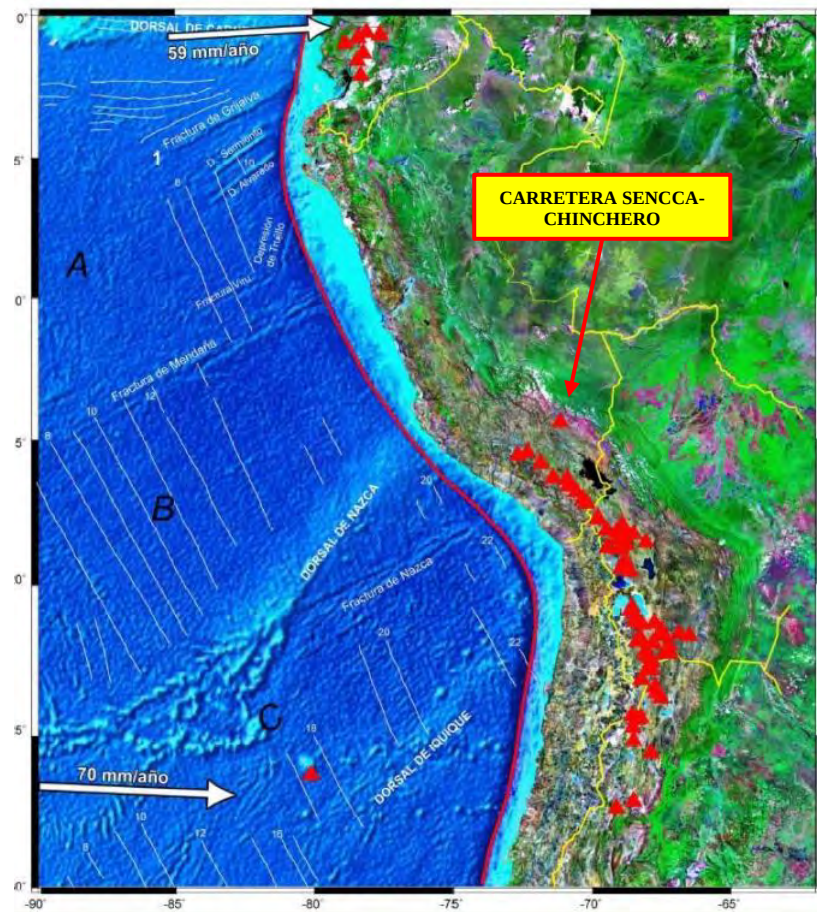
Un segundo tipo de actividad sísmica es el generado por las alteraciones en la corteza que se producen a lo largo de la cordillera de los Andes, y por último un tercer tipo directamente vinculado a la tectónica de placas, es la sismicidad de origen volcánico.

De la figura 20, la línea roja representa la fosa Peru-Chile. Las flechas blancas indican la dirección del movimiento relativo de las placas y los triángulos rojos, la actividad volcánica activa.

En el área de estudio, la actividad sísmica presenta diversas repercusiones dependiendo de la naturaleza de las formaciones geológicas, considerando que el grado de peligro sísmico de los depósitos cuaternarios o suelos menos compactados, sería alto en cuanto a la amplificación de ondas sísmicas, por ende, facilitan el daño a las estructuras. En formaciones rocosas el grado de peligro sísmico es bajo en cuanto a la amplificación de ondas sísmicas, sin embargo, los sismos pueden generar desprendimiento de rocas especialmente en sectores de intensa meteorización.

Figura 14

Mapa de la geometría y subducción de la placa de Nazca



Nota. Tomado de Re-evaluación del peligro sísmico probabilístico para el Perú (p. 6), por H. Tavera, I. Bernal, C. Condori, M. Ordaz, A. Zevallos y O. Ishizawa, 2014, Instituto Geofísico del Perú.

En el área de estudio, la actividad sísmica presenta diversas repercusiones dependiendo de la naturaleza de las formaciones geológicas, considerando que el grado de peligro sísmico de los depósitos cuaternarios o suelos menos compactados, sería alto en cuanto a la amplificación de ondas sísmicas, por ende, facilitan el daño a las estructuras. En formaciones rocosas el grado de peligro sísmico es bajo en cuanto a la

amplificación de ondas sísmicas, sin embargo, los sismos pueden generar desprendimiento de rocas especialmente en sectores de intensa meteorización.

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño sismorresistente, el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura 17. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información Neotectónica.

Figura 15

Mapa zonificación sísmica del Perú



Nota. Tomado de la norma E.030 Diseño sismorresistente (p. 9), por Ministerio de construcción y saneamiento, 2026.

A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la tabla 8, este factor se interpreta como la aceleración horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años, el factor Z se expresa como una fracción de la gravedad.

Tabla 5

Factores de la zona "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2026), Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

De acuerdo con la zonificación sísmica dentro del RNE- E-030 diseño sismo resistente. 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 de la carretera Puray – Quispihuara - Sencca se ubica en zona 2, con aceleración máxima de 0.25.

Los sismos más importantes que afectaron la región y cuya historia se conocen son:

- Sismo de 1581. Terremoto que hizo hundir el pueblo de Yanaoca, Cusco, con todos sus habitantes. Intensidad de IX MMI en Yanaoca, Cusco.
- Sismo del 31 de marzo de 1650. A las 14:00 horas. Terremoto en la ciudad de Cusco. Causó fuertes daños a las edificaciones. Se produjeron grandes deslizamientos en Pisac y Paucartambo. Intensidades: Yaurisque, Oropesa y Paucartambo IX MMI; Cusco VIII MMI.
- Sismo del 17 de septiembre de 1707. A las 24:00 horas. Terremoto en el pueblo de Capi, Paruro, Cusco. Se derrumbaron 90 casas y murieron 50 personas. En la

ciudad de Cusco hubo alarma. Se contaron más de 28 réplicas. Intensidades: Capi VII MMI y Cusco V MMI.

- Sismo del 19 de noviembre de 1744. Alas 06:30 horas. Fuerte temblor en el Cusco. Intensidad de VI MMI en Cusco.
- Sismo del 11 de febrero de 1746. Fuertes temblores en el pueblo de Urcos, Cusco. Se derrumbaron muchas casas. Se contaron 90 réplicas. Intensidad de VII MMI en Acomayo y VI MMI en Urcos.
- Sismo del 23 de enero de 1905. A las 06:15 horas. Fuerte temblor en Cusco. Intensidad de VI MMI en Andahuaylillas.
- Sismo del 18 de junio de 1931. A las 09:35 horas. Fuerte temblor en el pueblo de Tinta, Cusco. El suelo se agrietó y se desplomaron muchas viviendas. Intensidades de VII MMI en Tinta; V MMI en Checacupe, Sicuani y Yanaoca.
- Sismo del 05 de marzo de 1938. A las 07:00 horas. Fuerte temblor en Acopia, Acomayo, Cusco. Intensidad de VI MMI en Acopia.
- Sismo del 18 de septiembre de 1941. A las 08:15 horas. Fuerte temblor en el Cusco. Hubo daños en edificios y viviendas. El movimiento se sintió en Abancay y en los pueblos situados en las estribaciones de la Cordillera Occidental. Intensidades: Cusco VII MMI; Abancay VI MMI y Caravelí IV MMI.
- Sismo del 30 de enero de 1943. A las 24:00 horas. Fuerte temblor en Yanaoca y Pampamarca, provincia de Canchis, Cusco. El fenómeno tuvo carácter local y causó 75 muertos. Intensidad VII MMI en Yanaoca y Pampamarca.
- Sismo de cusco del 21 de mayo de 1950. Magnitud: $M_s = 6.8$, Intensidad: VII MMI. El domingo 21 de mayo de 1950, a la 1:39 de la tarde, un sismo 6.8 en escala de Richter, en la ciudad del Cusco, con una duración aproximada de 6 a

12 segundos, destruyó tres mil viviendas y gran parte de su arquitectura colonial. Iglesias como Santo Domingo, la Compañía, Santa Catalina, Belén y San Sebastián sufrieron daños desoladores. Perecieron alrededor de 120 personas. Después del terremoto, en el lado sur del valle al SE del pueblo de San Sebastián, se observó en una longitud de 5 km una zona de extensa fisuración. Las grietas eran de forma irregular y variaban en abertura de algunos centímetros hasta 2 m de profundidad.

- Sismo de cusco del 03 de junio de 1980. Magnitud: $m_b = 4.9$, Intensidad: VI MMI. Fuerte temblor en el Cusco. Intensidad de V-VI en Limatambo, en Urubamba, Pisac y Cusco IV MMI. De acuerdo al USGS la profundidad del sismo fue de 40 km.
- Sismo de cusco del 05 de abril de 1986. Magnitud: $M_w = 5.2$, Intensidad: VIII MMI. El 05 de abril de 1986 a las 15:15 horas ocurrió un sismo de Magnitud 5.2 aproximadamente a 20 Km al Nor Oeste de la ciudad de Cusco. Intensidad de VIII MMI en laguna Qoricocha, Quenco y Patabamba; VII MMI en Pisac; VI MMI en Cusco. De acuerdo con el USGS la profundidad del sismo fue de 50.9 Km. Este sismo fue generado por la reactivación de las fallas Chinchero, Qoricocha, presentó una longitud de 3 km y desplazamiento de hasta 10 cm, con extensión en dirección Norte-Sur.
- Sismo del 27 de septiembre del 2014. Magnitud: $M_l = 5.1$, Intensidad: VII MM

5.2.1 Perfiles del suelo

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ($\bar{V}_{s30}$), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los $\bar{N}_{60}$ obtenidos

mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada ($\bar{S}_u$) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación. Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). (Ministerio de Vivienda, 2026).

Se contempla 6 tipos de perfiles de suelos S0, S1, S2, S3, S4, S5:

- ✓ Perfil Tipo S0: Roca
- ✓ Perfil Tipo S1: Suelos muy rígidos
- ✓ Perfil Tipo S2: Suelos rígidos
- ✓ Perfil Tipo S3: Suelos intermedios
- ✓ Perfil Tipo S4: Suelos blandos
- ✓ Perfil Tipo S5: Suelos excepcionales

Tabla 6

Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	V_{s30}	N_{60}	S_u
S0	≥ 800 m/s	----	---
S1	≥ 550 m/ a < 800 m/s	>50	>100 kPa
S2	≥ 350 m/ a < 550 m/s	30 a 50	80 kPa a 100 kPa
S3	≥ 200 m/ a < 350 m/s	15 a 30	50 kPa a 80 kPa
S4	< 200 m/s	<15	< 50 kPa

Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2026), Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

5.2.2 Parámetros de sitio

Se deberá considerar el tipo de perfil que mejor refleje las condiciones del sector evaluado, utilizando los valores del factor de amplificación del suelo "S" y los periodos T_p y T_l proporcionados en las tablas.

Tabla 7

Factor de suelo "S"

Suelo Zona	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Z ₄	0.8	1	1.00 - 1.10	1.10 - 1.20	Requiere un análisis de respuesta de sitio
Z ₃	0.8	1	1.00 - 1.15	1.15 - 1.20	
Z ₂	0.8	1	1.00 - 1.30	1.30 - 1.40	
Z ₁	0.8	1	1.00 - 1.30	1.30 - 1.60	2.4

Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2026), Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Tabla 8

Periodos T_P y T_L

Suelo Periodo	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T_P (s)	0.3	0.4	0.4 - 0.6	0.6 - 0.9	1.2
T_L (s)	3	2.5	2.5 - 2.0	2.0 - 1.6	1.6

Nota. Adaptado de Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2026), Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Dentro de los alcances de la "Norma Técnica de Edificaciones E.030" de "Diseño sísmo resistente", el área de proyecto se encuentra ubicada en las provincias de Cusco, Anta y Urubamba, del departamento de Cusco; consecuentemente, está dentro de la

denominada “Zona 2” de la clasificación de “Zonas Sísmicas” del territorio nacional, correspondiéndole un “factor de zona” de 0.25; interpretándose como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

La descripción litológica hecha precedentemente, indica que el basamento rocoso está conformado por rocas sedimentarias (areniscas, calizas, yesos y limos) según la Norma E.030, a un Perfil Tipo S2: Suelos rígidos, teniéndose los siguientes parámetros:

Tabla 9

Parámetros de diseño de basamento rocoso

Parámetros de diseño	Magnitud	Descripción
Zona	2	Figura 14
Factor de zona (Z)	0.25	Tabla 8
Tipos de suelo	S2	Suelos rígidos
Factor de suelo (S)	1.3	Tabla 10
Periodo T_p (s)	0.6	Tabla 11
Periodo T_L (s)	2	Tabla 11

El material de cobertura está conformado por limos arenosos de muy baja compacidad, según la Norma E.030, a un Perfil Tipo S3: Suelos intermedios, teniéndose los siguientes parámetros:

Tabla 10

Parámetros de diseño de material de cobertura

Parámetros de diseño	Magnitud	Descripción
Zona	2	Figura 14
Factor de zona (Z)	0.25	Tabla 8
Tipos de suelo	S3	Suelos intermedios
Factor de suelo (S)	1.4	Tabla 10
Periodo T_p (s)	0.9	Tabla 11
Periodo T_L (s)	1.6	Tabla 11

5.3 Geodinámica externa

Los fenómenos de geodinámica externa son todos aquellos que participan en la evolución del modelado de la superficie del terreno, resultado de la interacción de agentes geodinámicos. Ocurren bajo diferentes modalidades, dependiendo del agente principal y factores que participan en su origen y desarrollo. (Rivera, 1991).

Se abordan todos los aspectos relacionados con las condiciones naturales del terreno y sus incidencias en la carretera, desde el punto de vista en que las rocas y material de cobertura serán cortados con los trabajos de construcción y apertura de la carretera (clasificación de materiales), sea por los problemas de geodinámica externa (peligros naturales) que afectan su seguridad física.

5.3.1 *Erosión de laderas*

Este tipo de proceso está considerado como el predecesor de grandes eventos de movimiento de masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta debido a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo. (INGEMMET, 2020).

Este fenómeno es más evidente en terrenos inclinados (laderas) y desprovistos de vegetación, donde la cobertura vegetal no actúa como barrera protectora. El impacto de la lluvia en el suelo descubierto genera el arranque y arrastre de suelo fino, inicialmente comprendido como erosión laminar y posteriormente evoluciona en 2 formas: surcos de erosión (son canales bien definidos y pequeños) y Cárcavas (son canales o zanjas más profundas y de mayor dimensión). (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1980).

La socavación de los márgenes de una plataforma vial consiste en la erosión progresiva del terreno ubicado en los bordes de la carretera o de sus taludes, causada por la acción concentrada de escorrentías, cauces naturales o inundaciones. Este proceso reduce la capacidad portante del terreno, genera pérdida de soporte lateral y aumenta el riesgo de fallas en la plataforma vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

Estos procesos se dan a lo largo de la vía en las siguientes progresivas: km. 04+250 a 04+300, km. 04+470 a 04+530, km. 05+500 a 05+600, km. 05+750 a 5+900, km. 06+800 a 06+920, km. 08+830 a 08+940, km. 09+200 a 09+270, km. 10+150 a 10+200, km. 10+590 a 10+660, km. 10+810 a 10+960, km. 13+620 a 13+710.

Figura 16

Vista de erosión de laderas identificados en el área de estudio



Nota. (A) Cárcava generada por erosión hídrica concentrada, asociada al escurrimiento superficial y a la insuficiente protección vegetal del terreno. (B) Surcos de erosión generados por el flujo superficial de aguas pluviales sobre materiales de baja cohesión.

5.3.2 Deslizamiento

Es un movimiento de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre ladera abajo predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en

donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. (INGEMMET, 2020).

Este tipo proceso es especialmente destructiva, ya que no solo implica el desgaste superficial, sino también el desplazamiento de grandes volúmenes de suelo y rocas, lo que puede tener consecuencias graves para los ecosistemas, infraestructuras y asentamientos humanos. Este proceso se da a lo largo de la vía en la siguiente progresiva: km 13+740 a 13+770, los cuales muchos de ellos se encuentran afectando de manera parcial la vía, por lo cual se requiere la remoción y perfilado de talud.

Figura 17

Vista de deslizamiento de ladera identificado en el área de estudio



Nota. Deslizamiento superficial de ladera en el KM 13+740 a 13+770, evidenciado por la presencia de un escarpe principal, pérdida de cobertura vegetal y desplazamiento de material coluvial, indicando condiciones de inestabilidad del talud.

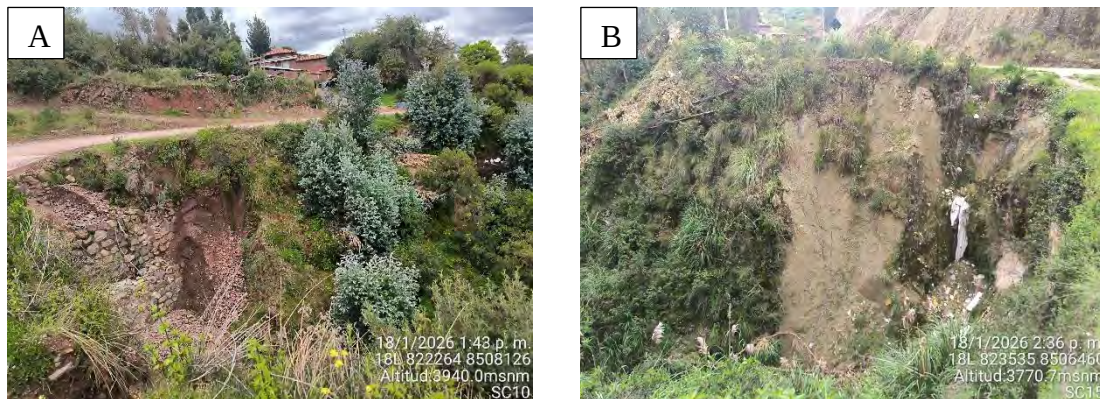
5.3.3 Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, típicamente presente en suelos blandos no consolidados, suelos arcilloso plástico, presente en pendientes moderadas a

fuertes, originado en su mayoría por saturación de los estratos de suelo, disminuyendo su cohesión e incrementando el peso del material, estos flujos frecuentemente arrastran parte de la capa de vegetación, ubicados en las progresivas Km 10+170 y Km13+620.

Figura 18

Vista de flujos de tierra identificados en el área de estudio



Nota. (A) Flujo de tierra desarrollado en el talud inferior, evidenciado por el desplazamiento descendente de material fino saturado. (B) Flujo de tierra activo en el talud inferior, asociado a procesos de erosión e infiltración de agua.

5.4 Sectores identificados con problemas de geodinámica externa

Se ha identificado 11 zonas críticas de la vía en estudio, las cuales han sido evaluadas y clasificadas según las siguientes consideraciones:

- ✓ Tipo de fenómeno geodinámico
- ✓ Periodicidad
- ✓ Dimensión
- ✓ Causas
- ✓ Evaluación

Para la evaluación se han tomado 3 categorías según el impacto que tenga el fenómeno geodinámico sobre la infraestructura vial y el peligro sobre los transeúntes de dicha vía, ver tabla 14.

Tabla 11

Categorías de evaluación geodinámica

Medianamente sensible	Son sectores con incidencia de eventos temporales (se activan en épocas de lluvia y en épocas de sequía el terreno se estabiliza). Estos eventos no interrumpen el tránsito de la vía y no pone en peligro la vida de los transeúntes.
Sensible	Sectores presentan superficies de erosión o deslizamiento que deterioran la infraestructura vial, se incrementan más en la época de lluvia y en fuertes precipitaciones que pueden obstaculizar parte de la vía con pequeños derrumbes, huaicos o hundimientos.
Muy sensible	Son sectores que por su características morfológicas, estructurales y litológicas presentan un peligro latente para la infraestructura vial y/o la seguridad de los transeúntes, se tratan de sectores desestabilizados por la acción antrópica y agentes atmosféricos.

Tabla 12

Sectores críticos identificados por geodinámica externa

Nombre del Sector	Ubicación Progresiva	Clase de Fenómeno	Periodicidad	Dimens.	Causas	Evaluación
S.C # 1	04+250 a 04+300	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	50 m	Falta de sistema de drenaje, escorrentía superficial, suelos con baja cohesión, cauce de quebrada.	Medianamente Sensible
S.C # 2	04+470 a 04+530	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	40 m	Falta de sistema de drenaje, escorrentía superficial, suelos con baja cohesión, cauce de quebrada.	Medianamente Sensible
S.C # 3	05+500 a 05+600	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	50 m	Falta de sistema de drenaje, escorrentía superficial, suelos con baja cohesión, cauce de quebrada.	Medianamente Sensible
S.C # 4	05+750 a 05+900	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	40 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Sensible
S.C # 5	06+800 a 06+920	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	40 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Sensible
S.C # 6	08+830 a 08+940	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	30 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Sensible
S.C # 7	09+200 a 09+270	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	60 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Sensible
S.C # 8	10+150 a 10+200	Erosión de ladera por escorrentía / cárcava	Época de lluvia	50 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Muy Sensible
S.C # 9	10+590 a 10+660	Erosión de ladera por escorrentía-socavación	Época de lluvia	50 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Muy Sensible
S.C # 10	10+810 a 10+960	Erosión de ladera por escorrentía-socavación	Época de lluvia	60 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Muy Sensible
S.C # 11	13+620 a 13+710	Erosión de ladera por escorrentía	Época de lluvia	80 m	Lluvias, infiltración, falta de sistema de drenaje, tipos de suelos	Sensible

Figura 19

Vista satelital de sector crítico N°1



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 20

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°1



Nota. (A) Vista panorámica de plataforma vial con cruce de quebrada de flujo estacional.
(B) Vista aguas abajo, se observa que la concentración de escorrentía superficial genera procesos de erosión en los márgenes de la vía.

Tabla 13*Sector crítico N°1 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 04+250 a Km. 04+300
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	50m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por quebradas y cárcavas, la pendiente promedio es de 30°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos deluvio - coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	El proceso geodinámico presente en esta zona es la erosión por escorrentía en quebrada, en el talud superior presenta de dimensiones de unos 6 metros de profundidad en promedio y de unos 20 - 30 metros de ancho, en el talud inferior las dimensiones incrementan considerablemente, ocasionando el deterioro de la plataforma de la carretera. Este fenómeno es producido por las aguas de lluvia y de escorrentía superficial de la zona, que discurren hacia este sector por presentar una depresión natural del terreno, y que ocasionan la erosión de los materiales formando surcos y/o cárcavas, incrementado por la falta de un sistema de drenaje.
Causas	● Escorrentía superficial. ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita el escurrimiento erosivo. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud Superior ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada, la entrega al badén será emboquillada. ● Considerando que sobre el eje de la vía presenta una depresión, se realizara la reconfiguración con rellenos controlados y compactados. Talud Inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh. ● Conforme se haya realizado el relleno de la depresión aguas arriba del eje de la vía, las aguas de escorrentía superficial serán captadas por un bordillo y cunetas, y serán llevadas hacia el badén proyectado ubicado en la progresiva Km. 04+273.

Figura 21

Vista satelital de sector crítico N°2



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 22

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°2



Nota. (A) Vista panorámica de plataforma vial con cruce de quebrada de flujo estacional.

(B). Se observa quebrada por el que discurre aguas superficiales de forma temporal.

Tabla 14*Sector crítico N°2 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 04+470 – 04+530
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	40 m
Caract. del trazo	Recto
Geomorfología	se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por quebradas y cárcavas, la pendiente promedio es de 25°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla en una zona de depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	El proceso geodinámico presente en esta zona es la erosión por escorrentía, se manifiesta mediante una cárcava ubicada en el curso de una quebrada de flujo estacional, que se ha profundizado rápidamente por la naturaleza del material. En el talud superior se tiene unos 5 metros de profundidad en promedio y de unos 20 - 40 metros de ancho. A su vez éste fenómeno se encuentra debilitando el talud inferior, el cual ocasionara el deterioro del terraplén proyectado de la carretera.
Causas	● Escorrentía superficial ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita el escurrimiento erosivo. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada, la entrega al badén será emboquillada. ● Reemplazar la tajea existente por un badén de concreto armado en el cruce de la quebrada con la vía. ● Considerando que sobre el eje de la vía presenta una depresión, se realizara la reconformación con rellenos controlados y compactados al 95% de su máxima densidad y optimo contenido de humedad, que alcancen el nivel del baden existente. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas abajo

Figura 23

Vista satelital de sector crítico N°3



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 24

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°3



Nota. (A) Vista aguas arriba quebrada de flujo estacional. (B). Se observa plataforma vial con cruce de quebrada de flujo estacional

Tabla 15*Sector crítico N°3 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 05+500 a 05+600
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	50 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por una quebrada que atraviesa perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente promedio es de 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	El proceso geodinámico presente en esta zona es la erosión por escorrentía en quebrada de flujo estacional, aguas arriba de la quebrada respecto a la vía se presenta unos 6 metros de profundidad en promedio y de unos 20 - 30 metros de ancho, este fenómeno se encuentra debilitando el talud inferior ocasionando el deterioro de la plataforma de la carretera.
Causas	● Escorrentía superficial ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, sin embargo, se mantiene el escurrimiento erosivo encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en el talud superior (50 m. a cada lado) estas drenaran sus aguas hacia la quebrada con una entrega emboquillada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra ● Reemplazar la tajea existente por un badén de concreto armado en el cruce de la quebrada con la vía. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra ● Dotar de bordillo el lado derecho de la vía el cual desaguará hacia el badén. ● Realizar el mantenimiento periódico de las obras en el sector.

Figura 25

Vista satelital de sector crítico N°4



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 26

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°4



Nota. (A) Se observa plataforma vial con cruce de quebrada de flujo estacional. (B). Vista aguas abajo, se observa abundante vegetación en quebrada.

Tabla 16*Sector crítico N°4 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 05+750 a 05+900
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	40 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por una quebrada que atraviesa perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente promedio es de 20°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Este proceso es producido por las aguas de lluvia y de escorrentía superficial de la zona, que discurren hacia las partes bajas por presentar una depresión natural del terreno de unos 10 metros de profundidad en promedio y de unos 10 - 20 metros de ancho, este fenómeno se encuentra debilitando el terraplén de la actual plataforma de la carretera.
Causas	● Escorrentía superficial ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita el escurrimiento erosivo de escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto encima de la cárcava superior (50 m. a cada lado) estas drenaran sus aguas hacia la quebrada con una entrega emboquillada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada, la entrega al badén será emboquillada. ● Considerando que sobre el eje de la vía presenta una depresión, se realizara la reconfiguración con rellenos controlados y compactados al 95% de su máxima densidad y optimo contenido de humedad, que alcancen el nivel del badén existente. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra. ● Dotar de bordillo el lado derecho de la vía el cual desaguará hacia el badén.

Figura 27

Vista satelital de sector crítico N°5



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 28

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°5



Nota. (A) Vista de la plataforma vial en el cruce de una quebrada de flujo estacional, donde la escorrentía superficial concentrada favorece procesos de erosión hídrica en los márgenes de la vía. (B) Vista aguas abajo de la quebrada, caracterizada por abundante cobertura vegetal y evidencia de erosión del cauce asociada al flujo estacional.

Tabla 17

Sector crítico N°5 Erosión de ladera por escorrentía

Progresiva	Km. 06+800 – 06+920
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	40 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por una quebrada que atraviesa perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente promedio es de 20°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Los depósitos descritos se presentan estables en los alrededores dados su naturaleza y características físicas, pero son sensibles a la erosión por escorrentía cuando estos carecen de cobertura vegetal y por ellas discurren la concentración de agua de quebradas locales, como viene ocurriendo en esta zona. En la cabecera de la cárcava que se inicia al borde derecho de la vía se ubica un badén con muros laterales de piedra en parte siendo erosionados.
Causas	● Incremento en el proceso erosivo en cárcava ubicada en cruce de vía con en el curso de agua de flujo estacional. ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada existente (50 m. a cada lado) estas drenaran sus aguas hacia la quebrada con una entrega emboquillada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada, la entrega al badén será emboquillada. ● Considerando que sobre el eje de la vía presenta una depresión, se realizara la reconfiguración con rellenos controlados y compactados al 95% de su máxima densidad y optimo contenido de humedad, que alcancen el nivel del badén existente. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra.

Figura 29

Vista satelital de sector crítico N°6



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 30

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°6



Nota. (A) Vista de la plataforma vial en que la escorrentía superficial concentrada favorece procesos de erosión hídrica en los márgenes de la vía. (B) Vista panorámica de plataforma vial, se observa ligera ondulación en el cruce de la vía con quebrada.

Tabla 18*Sector crítico N°6 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 08+830 a 08+940
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	30 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por una quebrada antigua que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 10° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Este proceso es producido por las aguas de lluvia y de escorrentía superficial de la zona, que discurren hacia las partes bajas por presentar una depresión natural del terreno, y que podría ocasionar la erosión de los materiales que conforman el terraplén proyectado, así mismo se observa materiales de arrastre que colmatan la actual alcantarilla existente.
Causas	● Incremento en el proceso erosivo en cárcava ubicada en cruce de vía con en el curso de agua de flujo estacional. ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir bordillo el lado derecho de la vía con entrega a alcantarilla proyectada Km. 08+920. ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o badén proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto. ● Construir disipadores de energía en muros gavión, aguas abajo del cruce con cuerpo de agua.

Figura 31

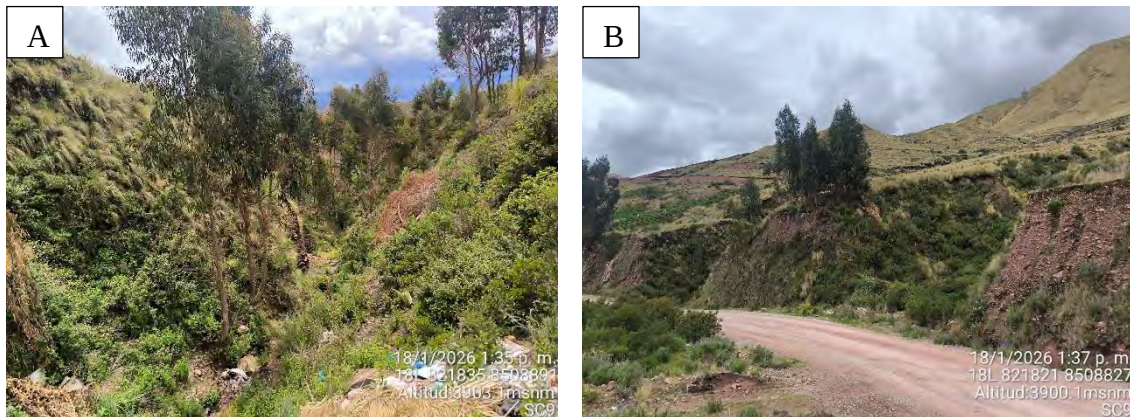
Vista satelital de sector crítico N°7



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 32

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°7



Nota. (A) Vista del cauce de una quebrada de flujo estacional adyacente a la plataforma vial, donde se evidencia erosión hídrica asociada a la escorrentía superficial concentrada. (B) Vista general del sector crítico, observándose el cruce de la carretera con una depresión natural del terreno que canaliza las aguas de escorrentía.

Tabla 19*Sector crítico N°7 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 09+200 a 09+270
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	60 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por dos quebradas antiguas que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 15° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Los depósitos descritos se presentan estables en los alrededores dados su naturaleza y características físicas, pero son sensibles a la erosión por escorrentía cuando estos carecen de cobertura vegetal y por ellas discurren la concentración de agua de quebradas locales, como viene ocurriendo en esta zona.
Causas	● Incremento en el proceso erosivo en cárcava ubicada en cruce de vía con en el curso de agua de flujo estacional. ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir bordillo el lado derecho de la vía el cual desaguará hacia la alcantarilla proyectada Km. 09+210, Km. 09+230. ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o baden proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto. ● Construir disipadores de energía en muros gavión, aguas abajo del cruce con cuerpo de agua.

Figura 33

Vista satelital de sector crítico N°8



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 34

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°8



Nota. (A) Vista general del sector crítico donde la escorrentía superficial concentrada ha generado erosión de los taludes y afectación de la plataforma vial. (B) Vista de una cárcava activa originada por escorrentía concentrada, la cual provoca la pérdida progresiva de material.

Tabla 20*Sector crítico N°8 Erosión de ladera por escorrentía - cárcava*

Progresiva	Km. 10+150 a 10+200
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía - cárcava
Longitud	50 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por dos quebradas antiguas que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 15° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Este proceso es producido por las aguas de lluvia y de escorrentía superficial de la zona, que discurren hacia las partes bajas por presentar una depresión natural del terreno, lo que genera cárcavas y hasta pequeños flujos de tierra y que podría ocasionar la erosión de los materiales que conforman el terraplén proyectado.
Causas	● Incremento en el proceso erosivo en cárcava ubicada en cruce de vía con en el curso de agua de flujo estacional. ● Tipo de suelo con baja cohesión. ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o badén proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto. ● Construir disipadores de energía en muros gavión, aguas abajo del cruce con cuerpo de agua.

Figura 35

Vista satelital de sector crítico N°9



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 36

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°9



Nota. (A) Vista de sector crítico donde la escorrentía superficial concentrada ha generado afectación de la plataforma vial. (B) Vista panorámica de socavación de alcantarilla y base de plataforma vial.

Tabla 21*Sector crítico N°9 Erosión de ladera por escorrentía - socavación*

Progresiva	Km. 10+590 a 10+660
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía - socavación
Longitud	50 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por dos quebradas antiguas que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 15° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos deluvio-coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Este proceso es producido por las aguas de lluvia y de escorrentía superficial de la zona, que discurren hacia las partes bajas por presentar una depresión natural del terreno, genera la socavación en la base de alcantarilla y plataforma, a su vez podría ocasionar la erosión de los materiales que conforman el terraplén proyectado, así mismo se observa materiales de arrastre que colmatan la actual alcantarilla existente.
Causas	● Escorrentía superficial mal no canalizada. ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir bordillo el lado derecho de la vía con entrega a alcantarilla proyectada entre el Km. 10+540 a Km. 10+670. ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. ● Construir disipadores de energía hidráulica en gavión de piedra, ubicado aguas arriba de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o badén proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto. ● Construir disipadores de energía en muros gavión.

Figura 37

Vista satelital de sector crítico N°10



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 38

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°10



Nota. (A) Proceso erosivo activo asociado a escorrentía superficial concentrada, que ha producido cárcavas. (B) Evidencia de socavación en el entorno de la alcantarilla y con afectación de la estabilidad de la plataforma vial.

Tabla 22

Sector crítico N°10 Erosión de ladera por escorrentía - socavación

Progresiva	Km. 10+810 a 10+960
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía - socavación
Longitud	60 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	Se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por dos quebradas antiguas que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 15° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de vertiente montañosa.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos Deluvio - Coluviales compuestos gravas angulares a subangulares con matriz limosa de color marrón claro.
Descripción	Procesos de erosión hídrica y la escorrentía superficial concentrada han generado socavación lateral y pérdida de material en el talud adyacente a la plataforma vial. Los cuales discurren hacia las partes bajas por presentar una depresión natural del terreno, y que podría ocasionar la erosión de los materiales que conforman el terraplén proyectado, así mismo se observa materiales de arrastre que colmatan la actual alcantarilla existente.
Causas	● Erosión hídrica y escorrentía superficial ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir bordillo el lado derecho de la vía el cual desaguará hacia la alcantarilla proyectada Km. 10+840, Km. 10+900. ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o badén proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto. ● Construir disipadores de energía en muros gavión.

Figura 39

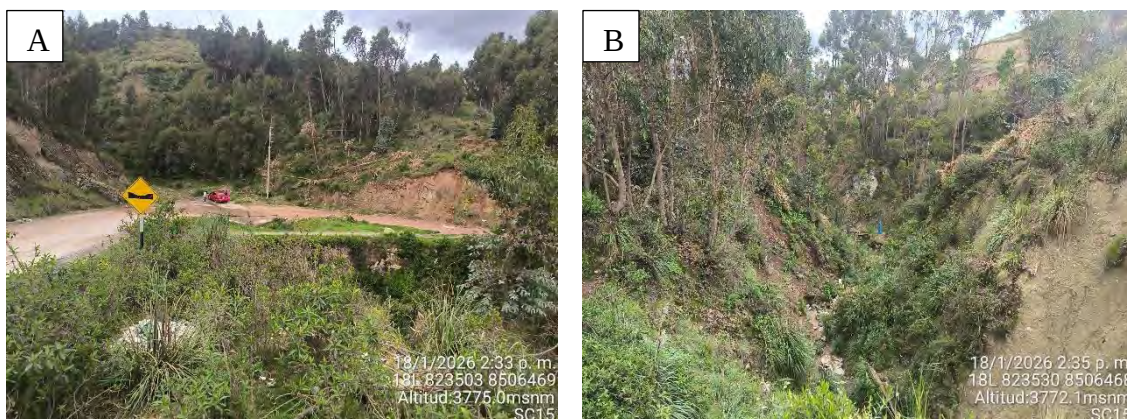
Vista satelital de sector crítico N°11



Nota. Adaptación a partir de Google Earth Pro (2024).

Figura 40

Vista procesos erosivos en el sector crítico N°11



Nota. (A) Vista general del cruce de la plataforma vial con una quebrada de flujo estacional. (B) Evidencia de erosión por escorrentía superficial concentrada en el flanco izquierdo del cauce aguas abajo.

Tabla 23*Sector crítico N°11 Erosión de ladera por escorrentía*

Progresiva	Km. 13+620 a 13+710
Tipo de proceso	Erosión de ladera por escorrentía
Longitud	80 m
Caract. del trazo	Curva
Geomorfología	se caracteriza por presentar topografía ondulada medianamente disectada por dos quebradas antiguas que atraviesa casi perpendicularmente al eje de la vía, la pendiente entre 15° - 35°, perteneciente a la unidad geomorfológica de lomada fuertemente disectada.
Litoestratigrafía	Se desarrolla sobre depósitos residuales compuestos por materiales como limos arenosos y arcillosos de baja cohesión y muy sensibles a formar sistemas erosionables.
Descripción	Los depósitos descritos se presentan estables en los alrededores dados su naturaleza y características físicas, pero son sensibles a la erosión por escorrentía cuando estos carecen de cobertura vegetal y por ellas discurren la concentración de agua de quebradas locales, como viene ocurriendo en esta zona.
Causas	● Escorrentía superficial ● Pendiente moderada, que facilita la escorrentía superficial encauzada por la plataforma. ● La falta de un sistema de drenaje operativo en el área.
Recomendaciones	Talud superior ● Construir bordillo el lado derecho de la vía el cual desaguará hacia la alcantarilla proyectada Km. 14+300 a Km. 14+440. ● Construir una cuneta de coronación revestida de concreto en las partes laterales de la quebrada. Talud inferior ● Construir un muro de suelo reforzado o sistema terramesh con subdrenaje. ● La salida de la alcantarilla o badén proyectado será mediante bajaderos emboquillados con concreto ● Reforestar las zonas que hayan perdido su capa vegetal y en las zonas donde se instalaran trinchos de eucaliptos con plantas autóctonas del lugar.

CAPITULO VI: GEOTECNIA

6.1 Generalidades

La operatividad de la carretera presenta dificultades debido a que en su trayecto atraviesa condiciones naturales complejas, principalmente con procesos geodinámicos que afectan la integridad de la carretera en forma permanente y se intensifica año tras año durante periodos de lluvia propios del sector.

6.1.1 Normatividad

Estos análisis se han desarrollado siguiendo los lineamientos contenidos en el “Manual de suelos geología geotecnia y pavimentos RD N° 10-2014-MTC/14 (09.04.2014), Manual ensayos de materiales para carreteras RD N° 18-2016-MTC/14 (03.06.2016) en el que se especifica los ensayos a desarrollar:

• 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

6.1.2 Geotecnia de la vía

La valoración geotécnica de la carretera Piuray-Quispihuara-Sencca, con una extensión de 14.674 km, incluye la identificación del tipo de material, sea grava- limosa, arcillo-limoso o rocoso, debido a la exposición de fenómenos presentes en el tramo de la carretera.

El resultado de los ensayos de laboratorio realizados con las muestras recolectadas en campo contribuirá en establecer las características físico-mecánicas del suelo. Entendiéndose que la distribución de los distintos tipos de suelo y estratos rocosos corresponden a una actividad tectónica que fueron experimentando las formaciones geológicas, además hay materiales de recubrimiento como los depósitos coluviales, deluviales, fluviales de baja consolidación.

6.1.3 Metodología de investigación de campo y laboratorio

La metodología para caracterizar el suelo de fundación consiste en una investigación de campo en todo el trayendo de la carretera de una extensión de 14.674 km. Se llevó a cabo mediante la excavación de calicatas, la aplicación de métodos de muestreo que aseguren la representatividad del sector, transportándolas en cantidades adecuadas para su posterior análisis en laboratorio. Finalmente, los resultados obtenidos se registrarán escrita y gráficamente para la interpretación ingenieril y su aplicación en la carretera.

6.2 Estudio de la subrasante

6.2.1 Prospección de campo

Los trabajos de campo se orientaron con la finalidad de identificar y realizar la evaluación geotécnica del suelo de la vía que conecta Distrito de Cusco (Sencca Quispihuara) y Distrito de Chinchero (C.C. Ayllu pongo), se llevó a cabo un programa

de exploración y excavación de calicatas y recolección de muestras para ser ensayadas en el laboratorio.

6.2.2 Calicatas

En total se excavaron 44 Calicatas "a cielo abierto" a los que se denominan C-03 al C-46. La profundidad alcanzada en las perforaciones mencionadas está comprendida entre 1.50 por debajo de la subrasante, se ha considerado aproximadamente 03 calicatas por kilómetro para carreteras de segunda clase, según lo establecido en el manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. R.D N°10-2014-MTC/14.

6.2.3 Muestreo

Se realizó la extracción de muestras representativas de suelos inalterados de cada calicata, tomando la cantidad necesaria que permitió efectuar los ensayos exigidos, así como también los ensayos de verificación que ratifiquen los resultados poco frecuentes.

6.2.4 Registro de calicatas

Juntamente con la extracción de muestras se realiza la caracterización visual del suelo mediante un perfil estratigráfico de cada calicata como determina a norma del MTC, registrando propiedades físicas visibles en los estratos.

Tabla 24*Ubicación de calicatas*

N° Calicata	PROGRESIVA	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (metros)
		NORTE	ESTE	
C-03	13+687	8506417	823524	1.5
C-04	13+367	8506396	823281	1.5
C-05	13+105	8506522	823203	1.6
C-06	12+819	8506726	823063	1.5
C-07	12+441	8506960	822862	1.5
C-08	12+102	8507088	822770	1.5
C-09	11+927	8507236	822660	1.6
C-10	11+491	8507159	822365	1.5
C-11	11+062	8507483	822445	1.5
C-12	10+831	8507610	822611	1.5
C-13	10+602	8507799	822492	1.5
C-14	10+289	8508010	822270	1.5
C-15	09+995	8508264	822154	1.5
C-16	09+656	8508457	821875	1.5
C-17	09+339	8508773	821836	1.5
C-18	09+016	8509033	821711	1.5
C-19	08+647	8509101	821449	1.5
C-20	08+319	8509317	821237	1.5
C-21	07+985	8509650	821176	1.5
C-22	07+642	8509747	820850	1.5
C-23	07+380	8509917	820674	1.6
C-24	07+178	8510108	820703	1.6
C-25	06+894	8510331	820775	1.6
C-26	06+468	8510536	820463	1.6
C-27	06+192	8510765	820587	1.5
C-28	05+879	8510956	820838	1.5
C-29	05+581	8511163	820685	1.5
C-30	05+372	8511323	820584	1.5
C-31	05+084	8511596	820676	1.5
C-32	04+475	8512164	820877	1.5
C-33	04+149	8512477	820903	1.5
C-34	03+800	8512807	820801	1.5
C-35	03+465	8513100	820644	1.5
C-36	03+121	8513362	820422	1.5
C-37	02+797	8513650	820278	1.5
C-38	02+386	8514031	820125	1.5
C-39	02+080	8514216	819895	1.5
C-40	01+705	8514521	819685	1.5
C-41	01+393	8514800	819544	1.5
C-42	01+070	8515088	819399	1.5
C-43	0+743	8515408	819332	1.5
C-44	0+392	8515753	819266	1.5
C-45	0+103	8516035	819206	1.5
C-46	01+086	8515070	819397	1.5

Nota. Adaptado de estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación (p. 13) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.2.5 Trabajo de laboratorio

El total de las muestras representativas obtenidas en cada calicata realizada en la carretera tendrá que ser evaluada con los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E 107.
- Humedad Natural MTC E 108.
- Límite Líquido de los suelos ASTM D-4318, MTC E 110.
- Límite Plástico e Índice de Plasticidad ASTM D-4318, MTC E 111.
- Clasificación SUCS ASTM D-2487.
- Clasificación de Suelos AASHTO M-145, ASTM D-3282.
- California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E 132.
- Ensayo de Abrasión Los Ángeles ASTM C-131, MTC E 207.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419, MTC E 114.
- Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115.

6.2.6 Muestreo y registro de exploración

Las calicatas del cual se obtuvo muestras representativas fueron ejecutadas 03 calicatas por 1km de la carretera que conecta el distrito de cusco (Sencca Quispihuara) y distrito de Chinchero (C.C. Ayllu pongo). En cada calicata se registró el perfil estratigráfico del suelo, clasificando visualmente los materiales mediante el procedimiento de campo establecido por el sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).

Figura 41

Vista de exploración de calicatas



Nota. (A) Excavación de la calicata C-19 mediante retroexcavadora para la exploración geotécnica de la subrasante. (B) Excavación de la calicata C-35 para la obtención y evaluación de las características físicas y mecánicas del suelo de fundación.

Tabla 25

Descripción estratigráfica de calicatas

PERFIL DE SUELO							
Nº	PROGRESI VA	CALICATA DE EXPLORACIÓN		PROF. TOTAL (metros)	ESTRATO (E)	CARACTERISTICAS DE ESTRATOS	
		COORDENADAS				PROF. (metros)	COMPOSICION
		NORTE	ESTE				
C-03	14+190	8506417	823524	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	1.00 – 1.50	Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de fino
C-04	13+745	8506396	823281	1.5	E-01	0+00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
C-05	13+480	8506522	823203	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.60	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
C-06	13+195	8506726	823063	1.5	E-01	0.00 – 0.30	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.30 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-07	12+830	8506960	822862	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-08	12+495	8507088	822770	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas limosas, mezclas de arena y limo

PERFIL DE SUELO							
Nº	CALICATA DE EXPLORACIÓN			CARACTERISTICAS DE ESTRATOS			
	PROGRESI VA	COORDENADAS		PROF. TOTAL (metros)	ESTRATO (E)	PROF. (metros)	COMPOSICION
		NORTE	ESTE				
C-09	12+265	8507236	822660	1.5	E-01	0.00 – 0.40	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.40 – 1.60	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
C-10	11+900	8507159	822365	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
C-11	11+455	8507483	822445	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
C-12	11+215	8507610	822611	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
C-13	10+940	8507799	822492	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-14	10+610	8508010	822270	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-15	10+230	8508264	822154	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-16	9+890	8508457	821875	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-17	9+550	8508773	821836	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-18	9+220	8509033	821711	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-19	8+845	8509101	821449	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-20	8+518	8509317	821237	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-21	8+150	8509650	821176	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
C-22	7+770	8509747	820850	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla
C-23	7+505	8509917	820674	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.60	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-24	7+280	8510108	820703	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.60	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava,

PERFIL DE SUELO							
N°	PROGRESI VA	CALICATA DE EXPLORACIÓN		PROF. TOTAL (metros)	ESTRATO (E)	PROF. (metros)	COMPOSICION
		NORTE	ESTE				
							arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
C-25	6+975	8510331	820775	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.60	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-26	6+520	8510536	820463	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.60	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-27	6+245	8510765	820587	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-28	5+930	8510956	820838	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas
C-29	5+600	8511163	820685	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-30	5+375	8511323	820584	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-31	5+090	8511596	820676	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
C-32	4+480	8512164	820877	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-33	4+150	8512477	820903	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-34	3+800	8512807	820801	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-35	3+465	8513100	820644	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
C-36	3+120	8513362	820422	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-37	2+799	8513650	820278	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres

PERFIL DE SUELO							
N°	CALICATA DE EXPLORACIÓN			CARACTERISTICAS DE ESTRATOS			
	PROGRESI VA	COORDENADAS		PROF. TOTAL (metros)	ESTRATO (E)	PROF. (metros)	COMPOSICION
		NORTE	ESTE				
C-38	2+385	8514031	820125	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-39	2+080	8514216	819895	1.5	E-01	0.00 – 0.30	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.30 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-40	1+705	8514521	819685	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-41	1+399	8514800	819544	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-42	1+070	8515088	819399	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
C-43	0+740	8515408	819332	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-44	0+390	8515753	819266	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
C-45	0+100	8516035	819206	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
C-46	1+082	8515070	819397	1.5	E-01	0.00 – 0.20	Relleno - Material de lastre
					E-02	0.20 – 1.50	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos

Nota. Adaptado de Estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación (p. 15) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.2.7 Caracterización físico – mecánica de la vía

Se definen áreas homogéneas en las que las propiedades del suelo de la capa de subrasante se identifiquen como uniformes. La uniformidad del suelo se determinará en base a las características físico-mecánicas de los suelos, este proceso requiere el análisis y criterio del proyectista, las principales propiedades a considerar son:

6.2.7.1 Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el material mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC E107), el presente ensayo tiene por objetivo determinar los diferentes elementos constituyentes y clasificarlos por su tamaño.

Tabla 26

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

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Sección Suelos y Pavimentos (p. 33). (MTC, 2014).

Figura 42

Vista de ensayos de granulometría en laboratorio



Nota. Vista del ensayo de granulometría por tamizado realizado en laboratorio para la determinación de la distribución granulométrica de la muestra de suelo.

6.2.7.2 Plasticidad

La plasticidad de los suelos depende únicamente de sus elementos finos, el análisis granulométrico no permite apreciar esta característica, por tanto, es necesario determinar los límites de Atterberg. Los límites que miden la cohesión del suelo principalmente son: Límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111). (MTC, 2014).

Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

Figura 43

Vista de ensayos de plasticidad en laboratorio



Nota. Procedimiento de laboratorio para la determinación de los límites de Atterberg:

(A) medición del límite líquido y (B) determinación del límite plástico. Estos ensayos permiten evaluar las propiedades de consistencia de los suelos finos y establecer su índice de plasticidad para fines de caracterización geotécnica.

6.2.7.3 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 N° 200 -74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- $b = F-15$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 -74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- $c = LL - 40$ (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

- $d = IP - 10$ (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El índice de grupo es un número entero que va de 0 a 20 o más; si resulta negativo, se toma como 0. Un valor 0 indica un suelo de muy buena calidad, mientras que valores iguales o mayores a 20 representan suelos no aptos para caminos (MTC, 2014).

Tabla 27

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

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Sección Suelos y Pavimentos (p. 34). (MTC, 2014).

6.2.7.4 Humedad natural

La humedad natural del suelo (ensayo MTC E 108) es clave porque influye directamente en su resistencia, especialmente en suelos finos. Su medición permite compararla con la humedad óptima obtenida en ensayos Proctor para evaluar el CBR. (MTC, 2014)

Si la humedad natural es igual o menor que la óptima, se recomienda compactar el suelo y añadir agua. Si es mayor, se deben tomar medidas como aumentar la compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado. (MTC, 2014)

6.2.7.5 Clasificación de los suelos

Con las propiedades del suelo (granulometría, plasticidad e índice de grupo) se puede estimar su comportamiento y clasificarlo. Esta clasificación ayuda a predecir su desempeño y a identificar zonas geotécnicamente homogéneas, usando sistemas como AASHTO y ASTM (SUCS). A continuación, se presenta una correlación entre los dos sistemas de clasificación más utilizados:

Tabla 28

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

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Sección Suelos y Pavimentos (p. 35). (MTC, 2014).

6.2.7.6 CBR

Una vez que se hayan clasificado los suelos según los sistemas AASHTO y SUCS, se confeccionará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo. 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 con el 95% de la DMS (Densidad Máxima Seco) y a una penetración de carga de 2.54 mm. (MTC, 2014).

Figura 44

Vista de ensayos de CBR en laboratorio



Nota. Vista del ensayo CBR efectuado en laboratorio para determinar la capacidad portante y resistencia a la penetración del suelo de fundación.

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 de 3 ensayos por cada 1 km de carretera.

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 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:
 - a) Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
 - b) Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico.
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 29

Categorías de sub-rasante

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%

Nota. Tomado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos (p. 37). (MTC, 2014).

A continuación, se presentan los parámetros del suelo correspondientes a los análisis de laboratorio realizados en las 44 excavaciones de vía.

Tabla 30*Resultados finales de ensayos de laboratorio de calicatas para sub-rasante*

CALC.	PROG. Km	H. N. (%)	CLASIFICACION		CONSTANTES ATTERBERG			PROCTOR		CBR	
			SUCS	AASHTO	L.L.	L.P.	I.P.	M.D.S.	C.H.O.	95%	100%
C-03	14+190	5.69	GW-GM	A-1-a (0)	NP	NP	NP	2.13	7.11	22	58
C-04	13+745	13.63	SC	A-4(1)	23.45	14.67	8.78	2.044	9.72	8	14
C-05	13+480	13.89	SM	A-4(1)	NP	NP	NP	1.844	14.3	3	5
C-06	13+195	7.69	GM	A-1-b (0)	19.59	16.53	3.06	2.055	7.9	8	21
C-07	12+830	15.45	ML	A-4(4)	NP	NP	NP	1.93	9.54	3	6
C-08	12+495	7.84	SM	A-1-b (0)	NP	NP	NP	2.064	12.3	4	7
C-09	12+265	15.82	ML	A-4(3)	21.62	18.55	3.07	1.98	11.8	3	6
C-10	11+900	17.57	CL-ML	A-4(4)	23.5	18.51	4.99	1.95	14	3	6
C-11	11+455	13.45	SC-SM	A-4(1)	22.73	17.68	5.05	2.01	11.8	4	7
C-12	11+215	14.51	SC-SM	A-4(1)	20.54	15.54	5.1	2.066	8.75	5	9
C-13	10+940	12.28	CL-ML	A-4(9)	23.57	18.61	4.96	2.09	8	4	6
C-14	10+610	6.43	GC-GM	A-1-a(0)	21.75	16.21	5.54	2.208	8.22	14	28
C-15	10+230	8.78	GP-GM	A-1-a(0)	NP	NP	NP	2.13	5.7	35	69
C-16	9+890	5.76	GP-GM	A-1-a(0)	NP	NP	NP	2.202	8.5	24	53
C-17	9+550	6.41	GP-GM	A-1-a(0)	NP	NP	NP	2.198	6.5	39	84
C-18	9+220	9.55	GM	A-1-b(0)	19.25	16.46	2.79	2.175	6.3	25	48
C-19	8+845	12.77	CL-ML	A-4(6)	20.65	15.43	5.22	1.987	16	4	6
C-20	8+518	15.53	ML	A-4(9)	37.5	28.13	9.37	1.78	17	5	7
C-21	8+150	21.93	SC-SM	A-4(1)	25.48	20.77	4.71	1.885	15.8	4	8
C-22	7+770	10.59	GC	A-2-6(1)	32.39	16.46	15.93	1.947	12.6	12	30
C-23	7+505	21.48	CL-ML	A-4(7)	25.55	20.56	4.99	1.889	16.2	4	8
C-24	7+280	11.54	CL	A-4(3)	27.59	18.71	8.88	1.951	13	9	22
C-25	6+975	16.67	CL-ML	A-4(5)	22.45	18.19	4.26	1.937	16	5	11
C-26	6+520	19.4	CL-ML	A-4(9)	25.47	21.15	4.32	1.8	18.1	2	4
C-27	6+245	13.77	CL-ML	A-4(9)	24.61	18.32	6.29	1.971	13	3	5
C-28	5+930	16.09	CL	A-4(9)	26.63	18.52	8.11	1.831	10.8	2	4
C-29	5+600	15.19	GM	A-1-a(0)	NP	NP	NP	2.162	9.6	17	39
C-30	5+375	20.35	ML	A-4(3)	25.39	22.38	3.01	1.815	17	2	4
C-31	5+090	33.75	GM	A-4(1)	25.61	22.48	3.13	1.881	16.3	8	17
C-32	4+480	11.09	CL-ML	A-4(3)	24.17	18.42	5.75	2.1	11	6	13
C-33	4+150	14.6	ML	A-4(4)	20.7	17.47	3.23	2.067	12	2	4
C-34	3+800	9.6	CL-ML	A-4(6)	23.43	18.44	4.99	2.092	10.3	7	19
C-35	3+465	8.8	CL	A-4(4)	26.47	17.87	8.6	2.105	9.7	3	6
C-36	3+120	10.04	CL-ML	A-4(6)	23.56	16.72	6.84	2.047	9.8	3	5
C-37	2+799	19.38	CL	A-6(8)	36.53	22.2	14.33	1.742	19.6	3	6
C-38	2+385	15.7	ML	A-6(6)	34.47	27.1	7.37	1.791	19	7	16
C-39	2+080	23.19	ML	A-4(5)	NP	NP	NP	1.9	19.6	4	9
C-40	1+705	11.42	ML	A-4(7)	NP	NP	NP	1.53	22.5	1	3
C-41	1+399	18.41	ML	A-4(4)	NP	NP	NP	1.558	23.5	3	6
C-42	1+070	10.68	SM	A-4(2)	NP	NP	NP	1.773	18.6	2	4
C-43	0+740	11.7	ML	A-4(9)	NP	NP	NP	1.376	27.6	2	4
C-44	0+390	14.73	CL	A-4(5)	31.21	22.51	8.7	1.855	15.8	6	12
C-45	0+100	18.52	CH	A-7-6(18)	53.78	24.54	29.24	1.767	18.5	2	5
C-46	1+082	50.81	ML	A-4(9)	NP	NP	NP	1.353	26	4	8

Nota. Adaptado de Estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación (p. 19 y 21) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.2.8 Nivel freático

En las calicatas realizadas C – 03 hasta la C – 46 no se ha evidenciado nivel freático a la profundidad de exploración de 1.50 m.

6.2.9 Estabilización de suelos

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

Tabla 31

Calicatas que requieren mejoramiento a nivel sub-rasante

Calicata	Progresiva	C.B.R. al 95%	Calicata	Progresiva	C.B.R. al 95%
C-04	13+745	7.73	C-28	5+930	1.76
C-05	13+480	2.95	C-30	5+375	2.25
C-06	13+195	8.09	C-31	5+090	7.94
C-07	12+830	2.81	C-32	4+480	6.12
C-08	12+495	3.52	C-33	4+150	2.25
C-09	12+265	3.44	C-34	3+800	7.38
C-10	11+900	3.3	C-35	3+465	3.09
C-11	11+455	3.94	C-36	3+120	2.53
C-12	11+215	4.57	C-37	2+799	3.16
C-13	10+940	3.8	C-38	2+385	7.03
C-19	8+845	3.66	C-39	2+080	3.94
C-20	8+518	4.92	C-40	1+705	1.2
C-21	8+150	3.87	C-41	1+399	3.37
C-23	7+505	3.52	C-42	1+070	1.69
C-24	7+280	9.14	C-43	0+740	2.46
C-25	6+975	4.57	C-44	0+390	5.69
C-26	6+520	2.39	C-45	0+100	2.46
C-27	6+245	2.74	C-46	1+082	4.22

Nota. Adaptado de Estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación (p. 25) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Los sectores donde se recomienda realizar un mejoramiento de subrasante están ligados a los valores de CBR obtenidos los cuales oscilan entre 1.2% y 9.14% el cual está clasificado como una subrasante de regular a inadecuada y representa el 81.82% de la vía, y los sectores donde no son necesarios un mejoramiento de subrasante presentan un valor de CBR que oscila entre 12.3% y 38.67% y representa el 18.18% de la vía.

6.2.10 Capacidad de soporte

La capacidad de soporte de la subrasante fue evaluada mediante ensayos de Valor Relativo de Soporte (CBR), ejecutados sobre muestras representativas obtenidas de las calicatas distribuidas a lo largo del tramo Emp. PE-28F (Chincheró) – Piuray – Quispihuara – Sencca. Los ensayos fueron realizados al 95% de la Máxima Densidad Seca (MDS), permitiendo determinar la resistencia de los materiales que conforman la explanada de la vía.

Los resultados evidencian una marcada variabilidad de la capacidad portante, registrándose valores de CBR entre 1.20% y 38.67%. Los menores valores corresponden a materiales finos de baja capacidad de soporte, mientras que los mayores valores se encuentran asociados a depósitos granulares con mejores características geotécnicas.

6.2.10.1 Análisis de capacidad de soporte

Con el propósito de determinar la necesidad de mejoramiento de la subrasante, se aplicó la metodología del Número Estructural (Structural Number – SN), basada en los criterios de diseño AASHTO-93. Esta metodología permite evaluar la capacidad estructural del terreno de fundación y cuantificar el déficit estructural existente en aquellos sectores donde la resistencia de la subrasante resulta insuficiente para soportar las cargas de tránsito proyectadas.

6.2.10.1.1 CBR de diseño

El análisis permitió identificar sectores con capacidad portante insuficiente, principalmente donde el CBR es menor al 10%, por lo que se planteó el reemplazo del material existente mediante un material de mejoramiento con CBR de diseño igual a 26%.

Como criterio de diseño se adoptó un CBR de mejoramiento de 26%, valor utilizado para representar la capacidad portante de la subrasante una vez ejecutado el reemplazo de los materiales deficientes. Si bien las canteras evaluadas presentan valores de CBR al 95% de MDS superiores, correspondientes a 65.7% para la cantera Sencca y 57.9% para la cantera Yanamayo, el valor de 26% fue considerado como un parámetro conservador de diseño, orientado a representar las condiciones reales de comportamiento del material colocado en obra, considerando factores como la variabilidad natural del material, diferencias constructivas, procesos de compactación y posibles pérdidas de calidad durante la explotación y colocación del material de mejoramiento.

6.2.10.1.2 Modulo resiliente

El CBR de diseño adoptado fue transformado a Módulo Resiliente (MR). Para el Cálculo del Módulo Resiliente se utilizará la ecuación de correlación recomendada por el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos/Sección Suelos y Pavimentos R.D. N° 10-2014-MTC/14.

Para la aplicación de la formula del Módulo Resiliente en función del CBR se tiene la siguiente ecuación:

$$MR = 2555 * CBR^{0.64} \dots\dots\dots \text{Para todos los suelos} \qquad \text{AASHTO 2002}$$

$$\text{CBR Diseño} = 26\% \text{ ----- } Mr = 20,557.7 \text{ psi}$$

Obteniéndose un Módulo Resiliente de 20,557.7 psi para un CBR de 26%. Este valor representa la rigidez elástica de la subrasante mejorada frente a cargas repetidas de tránsito y se encuentra dentro del rango correspondiente a una subrasante de buena capacidad estructural. La adopción de este parámetro permitió evaluar adecuadamente la distribución de esfuerzos.

6.2.10.1.3 Espesores de mejoramiento

Como resultado final del análisis geotécnico y estructural, se adoptaron espesores de mejoramiento de 1.00 m (0.20 m de enrocado y 0.80 m de material de mejoramiento) entre las progresivas 0+000 y 5+500, 0.80 m de material de mejoramiento entre las progresivas 5+500 y 9+000, ningún mejoramiento entre las progresivas 9+000 y 10+700, y 0.80 m de material de mejoramiento desde la progresiva 10+700 hasta el final del tramo.

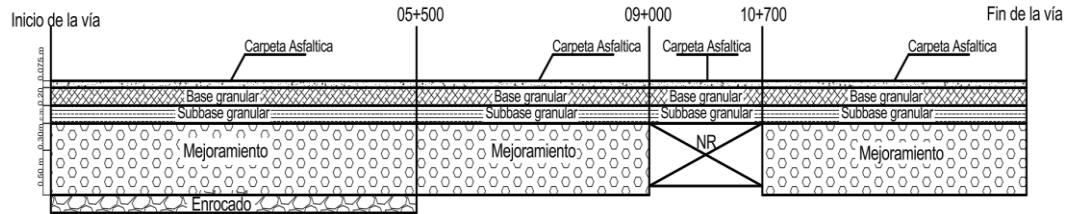
Tabla 32

Espesores de mejoramiento en la vía

Tramo	CBR natural (%)	Condición de subrasante	Mejoramiento
0+000 – 5+500	1.20 – 7.94	Deficiente	1.00 m
5+500 – 9+000	1.76 – 12.30	Regular a deficiente	0.80 m
9+000 – 10+700	14.06 – 38.67	Buena a excelente	No requiere
10+700 – Final	1.81 – 8.09	Deficiente	0.80 m

Figura 45

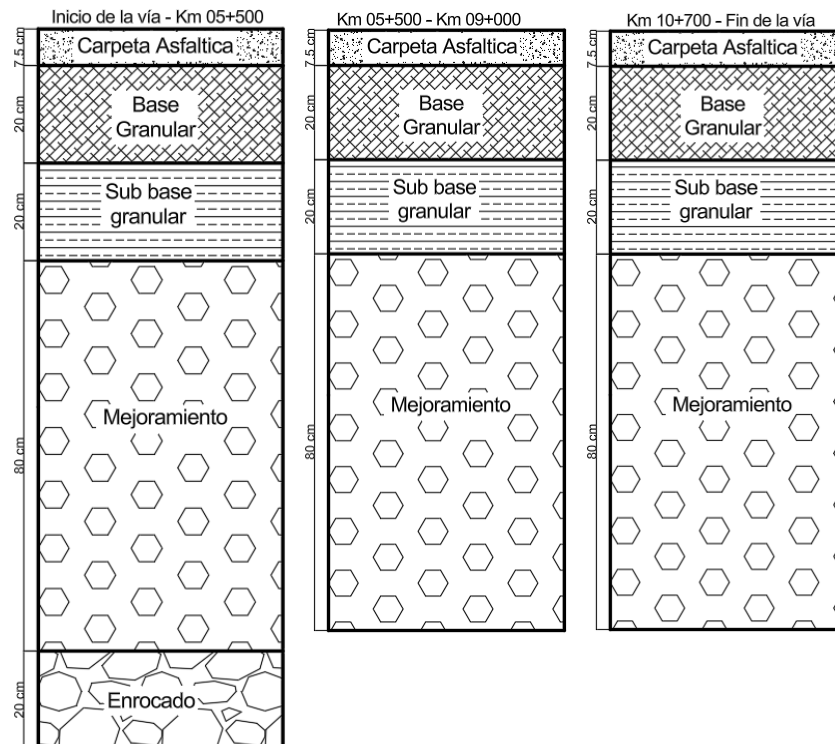
Vista general de espesores de mejoramiento en la vía



Nota: Tomado de *Nota:* Tomado de memoria de cálculo de diseño de pavimento (p. 20) (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 46

Detalle de espesores de mejoramiento en tramos de la vía



Nota: Tomado de memoria de cálculo de diseño de pavimento (p. 24) (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024)

Estos espesores garantizan que la subrasante alcance una capacidad de soporte equivalente a un CBR de diseño de 26%,

6.3 Estudio de canteras

6.3.1 Ubicación de canteras

A continuación, se detalla los diferentes depósitos para ser usadas como materiales de préstamo:

- Cantera 01 Cantera "Sencca", localizado en las coordenadas UTM (823813.00 E – 8507758.00 N), altura: 3931.0 m.s.n.m. y el acceso es por trocha en regulares condiciones por la progresiva km. 14+674.
- Cantera 02 Cantera "Yanamayo", localizado en las coordenadas UTM (822079.00 E – 8506185.00 N), altura: 3678.0 m.s.n.m y el acceso es por trocha cerca a la progresiva km. 11+750.
- Cantera 03 Cantera "Ccoricancha", localizado en las coordenadas UTM (820994.00 E – 8511207.00 N), altura: 3760.0 m.s.n.m. y el acceso es por trocha carrozable, cerca de la progresiva km. 4+700.
- Cantera 04 " Río Vilcanota (sector Huandar)", localizado en las coordenadas UTM (824162.790 E – 8526213.371N), altura: 2913.0 m.s.n.m. en el distrito de Huayllabamba, Calca, Cusco.
- Cantera 05 Cantera "Olluco Pampa", localizado en las coordenadas UTM (822178.00 E – 8506500.00 N), altura: 3778.0 m.s.n.m. y el acceso es por trocha carrozable, cerca de la progresiva km. 12+700.

El análisis de materiales de canteras es clave para asegurar la calidad y durabilidad de las carreteras. Mediante ensayos de laboratorio se evalúan sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Cumpliendo con las normas técnicas vigentes.

6.3.1.1 Cantera Sencca

El material que está emplazada en dicha cantera está conformado por depósito coluvial, se compone por acumulación de materiales de cantos rodados heterométricos con matriz de grava arenosa. El área es de 10 000 m² con un volumen bruto de 120 125 m³ y con un volumen de explotación de 109 657 m³.

Tabla 33

Cálculo de volumen de la cantera Sencca.

CANTERA SENCCA		
Volumen, Área de Cantera, Desbroce y % de Tamaños de Partículas		
Volumen Bruto de Explotación Estimado	m ³	120,125
Área Cantera	m ²	10,000
Altura Promedio de Explotación	m	12
Over	m	0.3
% Partículas > 2" **	%	6%
Cálculo de volúmenes		
Descripción	Símbolo	Volumen (m ³)
Volumen Bruto en Banco	Vb	120,125
Volumen Total de Desbroce / Eliminación Superficial: (H=30 cm)	Vdb= A x over	3,000
Volumen Neto en Banco (Potencia de la Cantera)	Vn = Vb - Vdb	117,125
Volumen Partículas grandes (>2") / Eliminación (% = 6)	Vpg=6%Vn	7,468
Volumen Utilizable	Vu = Vn - Vpg	109,657
Volumen Desechable	Vd = Vdb + Vpg	10,468
Rendimiento	R% = (Vu/Vb)	91%
Usos de la cantera	SUB-BASE, BASE DOSIFICADO	

Tabla 34

Resultados de ensayos de la cantera Sencca

N.º CALICATA	PROF.	GRANULOMETRÍA			INDICES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION	%HUM
		% GRAVA	% ARENA	% FINOS	% L.L.	% L.P.	% I.P.	AASHTO	
C-1	2.00 m	77.16	18.7	4.14	25.27	14.32	10.95	A-2-6 (0)	4.16
C-2	2.00 m	67.44	28.3	4.26	16.49	12.43	4.06	A-1-a (0)	3.79
C-3	2.00 m	78.33	19.29	2.38	22.97	13.79	9.19	A-2-4 (0)	3.14
C-4	2.00 m	90.26	7.66	2.09	25.85	14.26	11.6	A-2-6 (0)	4.19
C-5	2.00 m	63.21	24.24	12.55	26.71	17.07	9.64	A-2-4 (0)	3.22

Nota. Adaptado de Estudio de cantera fines de terraplen (p. 41) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 47

Vista de exploración y muestreo en la cantera Sencca



Nota. (A) Reconocimiento del depósito y delimitación de la zona de extracción; (B) obtención de muestras representativas de material granular para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas.

6.3.1.2 Cantera Yanamayo

El material que está emplazada en dicha cantera está conformado por depósito coluvial, se compone por gravas arcillosas y gravas mal gradadas con arcilla. GC, GP-GC. El área es de 10000 m² con un volumen bruto de 81614 m³ y con un volumen de explotación de 61,210 m³.

Tabla 35

Cálculo de volumen de la cantera Yanamayo.

CANTERA YANAMAYO		
Volumen, Área de Cantera, Desbroce y % de Tamaños de Partículas		
Volumen Bruto de Explotación Estimado	m ³	81,614
Área Cantera	m ²	10,000
Altura Promedio de Explotación	m	8
Over	m	0.3
% Partículas > 2" **	%	22%
Cálculo de volúmenes		
Descripción	Símbolo	Volumen (m ³)
Volumen Bruto en Banco	Vb	81,613.87
Volumen Total de Desbroce / Eliminación Superficial: ($H=30\text{ cm}$)	$V_{db} = A \times \text{over}$	3,000
Volumen Neto en Banco (Potencia de la Cantera)	$V_n = V_b - V_{db}$	78,614
Volumen Partículas grandes (>2") / Eliminación (% = 22)	$V_{pg} = 22\% V_n$	17,403
Volumen Utilizable	$V_u = V_n - V_{pg}$	61,210
Volumen Desechable	$V_d = V_{db} + V_{pg}$	20,403
Rendimiento	$R\% = (V_u/V_b)$	75%
Usos de la cantera	SUB-BASE GRANULAR; BASE GRANULAR	

Tabla 36

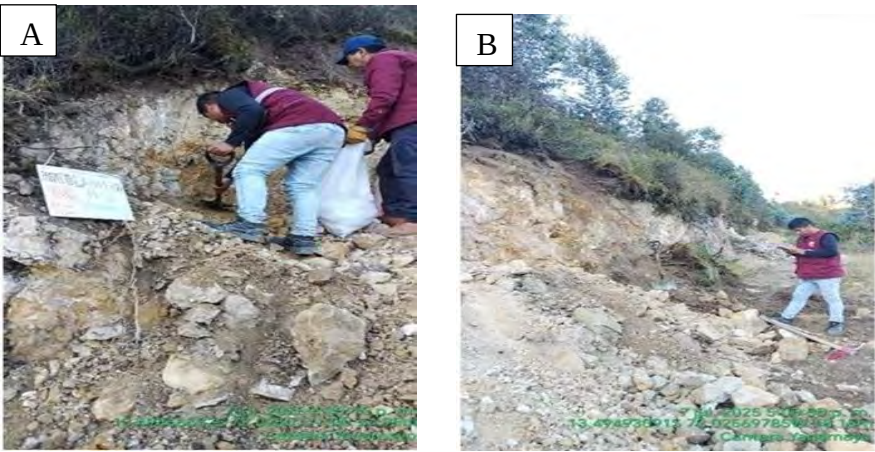
Resultados de ensayos de la cantera Yanamayo

N.º CALICATA	PROF.	GRANULOMETRÍA			INDICES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION	%HUM
		% GRAVA	% ARENA	% FINOS	% L.L.	% L.P.	% I.P.	AASHTO	
C-1	2.00 m	82.18	11.65	6.17	24.12	14.66	9.46	A-2-4 (0)	2.58
C-2	2.00 m	70.43	17.3	12.28	25.77	16.27	9.5	A-2-4 (0)	3.79
C-3	2.00 m	80.98	11.45	7.58	27.02	18.72	8.29	A-2-4 (0)	3.96
C-4	2.00 m	84.18	12.36	3.46	24.59	14.67	9.92	A-2-4 (0)	4.17
C-5	2.00 m	79.45	13.21	7.34	25.1	15.36	9.74	A-2-4 (0)	4.36

Nota. Adaptado de Estudio de cantera fines de terraplen (p. 23) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 48

Vista de exploración y muestreo en la cantera Yanamayo



Nota. (A) Obtención de muestras representativas del depósito granular; (B) inspección del afloramiento y delimitación de la zona de extracción.

6.3.1.3 Cantera Ccoricancha

El material que está emplazada en dicha cantera está conformado por un afloramiento rocoso fracturado, el material está conformado por bloques, gravas y arenas. El área es de 10000 m² con un volumen bruto de 119905 m³ y con un volumen de explotación de 107,915 m³.

Tabla 37

Cálculo de volumen de la cantera Ccoricancha.

CANTERA CCORICANCHA		
Volumen, Área de Cantera, Desbroce y % de Tamaños de Partículas		
Volumen Bruto de Explotación Estimado	m ³	119,905
Área Cantera	m ²	10,000.00
Altura Promedio de Explotación	m	12
Over	m	0.3
% Partículas > 2" **	%	8%
Cálculo de volúmenes		
Descripción	Símbolo	Volumen (m ³)
Volumen Bruto en Banco	Vb	119,905
Volumen Total de Desbroce / Eliminación Superficial: ($H=30\text{ cm}$)	$V_{db} = A \times \text{over}$	3,000
Volumen Neto en Banco (Potencia de la Cantera)	$V_n = V_b - V_{db}$	116,905
Volumen Partículas grandes (>2") / Eliminación ($\% = 8$)	$V_{pg} = 8\% V_n$	8,990
Volumen Utilizable	$V_u = V_n - V_{pg}$	107,915
Volumen Desechable	$V_d = V_{db} + V_{pg}$	11,990
Rendimiento	$R\% = (V_u/V_b)$	90%
Usos de la cantera	CONFORMACIÓN DE PIEDRAPLEN	

Tabla 38

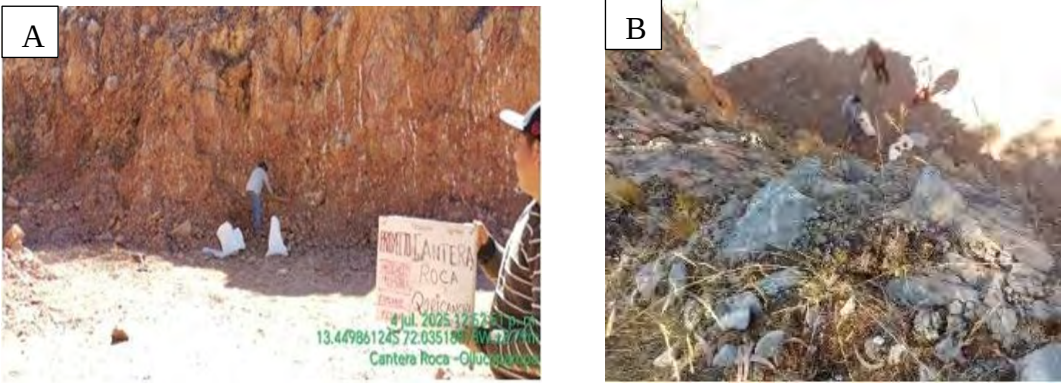
Resultados de ensayos de la cantera Ccoricancha

N.º CALICATA	PROF.	PESO ESPECIFICO	% ABRASION
C-1	2.00 m	2.389	29.86
C-2	2.00 m	2.385	29.79
C-3	2.00 m	2.38/1	29.75

Nota. Adaptado de Estudio de cantera fines de pedraplen (p. 9) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 49

Vista de exploración y muestreo en la cantera Ccoricancha



Nota. (A) Extracción de muestras representativas del depósito; (B) Inspección geológica de cantera y reconocimiento de las características del afloramiento rocoso.

6.3.1.4 Cantera Huandar

El material que está emplazada en dicha cantera está conformado por depósito fluvial, se compone por acumulación de materiales como bolones, grava, arena y limo. El área es de 10 000 m² con un volumen bruto de 12957 m³ y con un volumen de explotación de 5 182 m³.

Tabla 39

Cálculo de volumen de la cantera Huandar

CANTERA HUANDAR		
Volumen, Área de Cantera, Desbroce y % de Tamaños de Partículas		
Volumen Bruto de Explotación Estimado	m ³	12,957
Área Cantera	m ²	10,000
Altura Promedio de Explotación	m	1.30
Over	m	0.05
% Partículas > 2" **	%	58%
Cálculo de volúmenes		
Descripción	Símbolo	Volumen (m ³)
Volumen Bruto en Banco	Vb	12,957
Volumen Total de Desbroce / Eliminación Superficial: ($H=5\text{ cm}$)	$V_{db} = A \times \text{over}$	500
Volumen Neto en Banco (Potencia de la Cantera)	$V_n = V_b - V_{db}$	12,457
Volumen Partículas grandes (>2") / Eliminación (% = 58)	$V_{pg} = 58\% V_n$	7,275
Volumen Utilizable	$V_u = V_n - V_{pg}$	5,182
Volumen Desechable	$V_d = V_{db} + V_{pg}$	7,775
Rendimiento	$R\% = (V_u/V_b)$	40%
Usos de la cantera	SUB-BASE GRANULAR, BASE GRANULAR	

Tabla 40

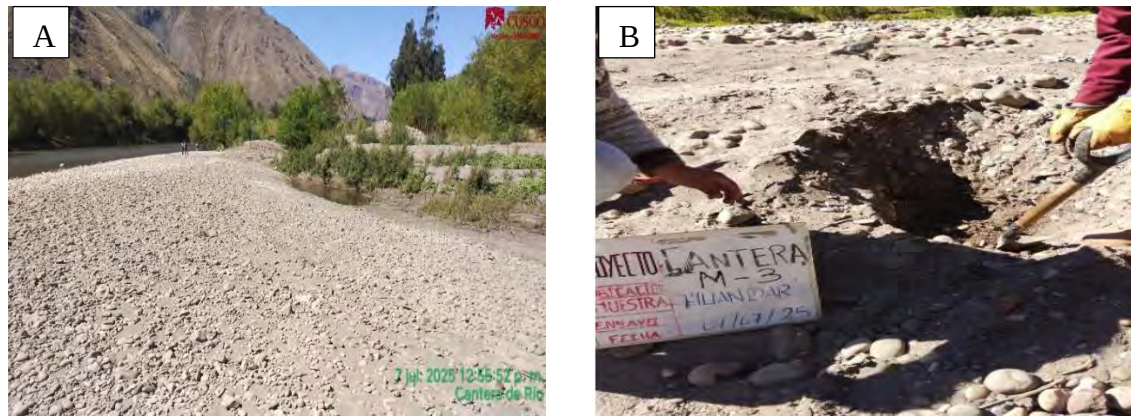
Resultados de ensayos de la cantera Huandar

N.º CALICATA	PROF.	GRANULOMETRÍA			INDICES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION	% HUM
		% GRAVA	% ARENA	% LIMOS	% L.L	% L.P.	% I.P.	AASHTO	
C-1	2.00 m	25.76	72.02	2.23	NP	NP	NP	A-1-b (0)	3.76
C-2	2.00 m	22.77	73.68	3.55	NP	NP	NP	A-1-b (0)	3.76
C-3	2.00 m	20.6	75.51	3.86	NP	NP	NP	A-1-b (0)	3.76
C-4	2.00 m	12.06	82.69	5.25	NP	NP	NP	A-1-b (0)	3.76
C-5	2.00 m	20.31	76	3.69	NP	NP	NP	A-1-b (0)	4.85

Nota. Adaptado de Estudio de cantera fines de base (p. 14) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 50

Vista de exploración y muestreo en cantera Huandar



Nota. (A) Depósito aluvial constituido predominantemente por gravas y arenas; (B) Calicata de exploración y obtención de muestras representativas utilizadas para la caracterización física-mecánica del material.

6.3.1.5 Cantera Olluco Pampa

El material que está emplazada en dicha cantera está conformado por un afloramiento rocoso fracturado, el material está conformado por bloques, gravas y arenas. El área es de 10 000 m² con un volumen bruto de 10 0000 m³ y con un volumen de explotación de 90 016 m³.

Tabla 41

Cálculo de volumen de la cantera Olluco pampa.

CANTERA OLLUCO PAMPA		
Volumen, Área de Cantera, Desbroce y % de Tamaños de Partículas		
Volumen Bruto de Explotación Estimado	m ³	100,000
Área Cantera	m ²	10,000
Altura Promedio de Explotación	m	10
Over	m	0.3
% Partículas > 2'' **	%	7%
Cálculo de volúmenes		
Descripción	Símbolo	Volumen (m ³)
Volumen Bruto en Banco	Vb	100,000
Volumen Total de Desbroce / Eliminación Superficial: ($H=30\text{ cm}$)	$V_{db} = A \times \text{over}$	3,000
Volumen Neto en Banco (Potencia de la Cantera)	$V_n = V_b - V_{db}$	97,000
Volumen Partículas grandes (>2'') / Eliminación ($\% = 7$)	$V_{pg} = 7\% V_n$	6,984
Volumen Utilizable	$V_u = V_n - V_{pg}$	90,016
Volumen Desechable	$V_d = V_{db} + V_{pg}$	9,984
Rendimiento	$R\% = (V_u/V_b)$	90%
Usos de la cantera	CONFORMACIÓN DE PIEDRAPLEN	

Tabla 42

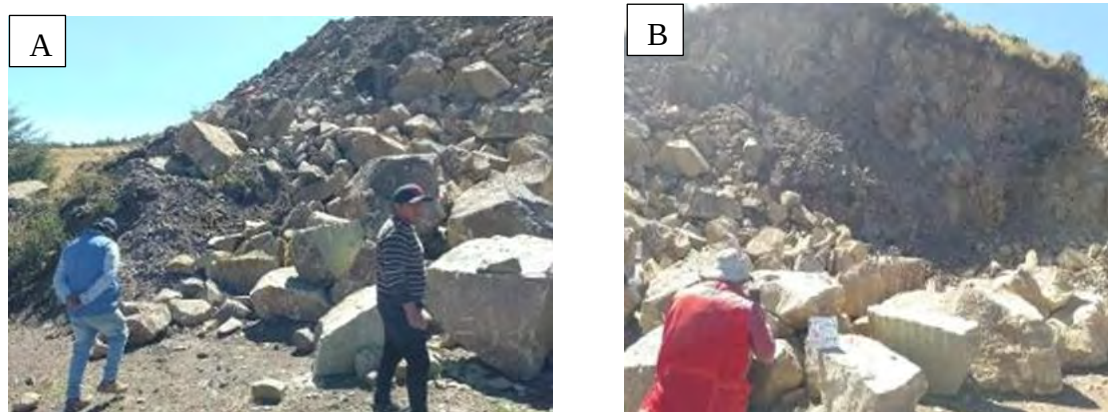
Resultados de ensayos de la cantera Olluco Pampa

N.º CALICATA	PROF.	PESO ESPECIFICO	% ABRASION
C-1	2.00 m	2.49.3	24.74
C-2	2.00 m	2.481	24.97
C-3	2.00 m	2.456	24.69

Nota. Adaptado de Estudio de cantera fines de pedraplen (p. 9) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 51

Vista de exploración y muestreo en la cantera Olluco pampa.



Nota.(A) Reconocimiento del depósito y selección de muestras representativas; (B) inspección de bloques rocoso y extracción de material para ensayos de caracterización geotécnica.

Se tiene un total de 5 canteras, de los cuales 01 cantera es de agregados de material pétreo, 02 canteras de suelo y 02 canteras de roca. Las canteras de suelo (Sencca y Yanamayo) cumplen los requisitos mínimos para usarse como material para mejoramiento a nivel subrasante, los resultados de estas canteras se muestran a continuación:

Tabla 43

Resumen de ensayos de laboratorio de canteras para mejoramiento de subrasante

Cantera	AASHTO	Límites de consistencia (%)			Gravas	Arenas	Finos	Proctor		C.B.R. AL 95% M.D.S.	Abrasión (%)	P.E	
		LL	LP	IP					%H				M.D.S
Sencca	A-2-6(0)	25.27	14.32	10.95	77.16	18.7	4.14	4.56	2.126	65.7	29.68		
Yanamayo	A-2-4(0)	24.12	14.66	9.46	82.18	11.65	6.17	5.8	2.186	57.9	29.3		
Ccoricancha	PIEDRA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	29.86	2.389	
Olluco Pampa	PIEDRA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	24.74	2.493	

Nota. Adaptado de Estudio de canteras Chinchero (p.56) (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Debido a que los materiales de cantera obtenidos no cumplen con los requisitos mínimos para ser empleados como material de Sub-base, se ha efectuado la dosificación de material entre las canteras Sencca, Yanamayo y Huandar.

6.3.2 Evaluación para Sub Base

Los resultados de los ensayos de laboratorio de dosificación para Subbase serán:

Tabla 44

Resumen de ensayos con la dosificación para Sub-base

Cantera y dosificación	SUCS	AASHTO	Límites de consistencia (%)			Gravas	Arenas	Finos	Proctor		C.B.R. AL 100% M.D.S.	C.B.R. AL 95% M.D.S.	Abrasión (%)	P.E
			LL	LP	IP				%H	M.D.S				
Sub Base Cantera: Yanamayu Grava (60%), Cantera: Yanamayo Arena y finos (20%) y Cantera: Huantar Arena (20%)	GW-GC	A-1-a(0)	21.5	15.82	5.7	64.06	28.06	7.88	4.7	2.28	90.1	50.7	29.43	2.518
Sub Base Cantera: Sencca Grava (60%), Cantera: Sencca Arena y finos (20%) y Cantera: Huantar Arena (20%)	GW-GC	A-1-a(0)	17.5	12.21	5.29	64.05	28.38	7.57	4.63	2.23	113.5	100.1	29.74	2.637

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de sub-base (p. 12) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Los requisitos de materiales para Sub-base, según el “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015)” en el “Capítulo 4. Capas Anticontaminantes Sub-Bases y Bases” en la “Sección 402. Sub-Bases Granulares” Sub-sección “402.02. Materiales”, indica que: “Los materiales para la construcción de Sub-Base granular deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la tabla 47”. La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Tabla 45

Requerimiento granulométrico para Sub-base granular

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 171), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015).

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de los requerimientos granulométricos de acuerdo a la norma y los resultados de laboratorio obtenidos para la combinación de cantera Yanamayo y cantera Sencca para Sub-base granular.

Tabla 46

Requerimiento granulométrico VS resultados de laboratorio para sub-base

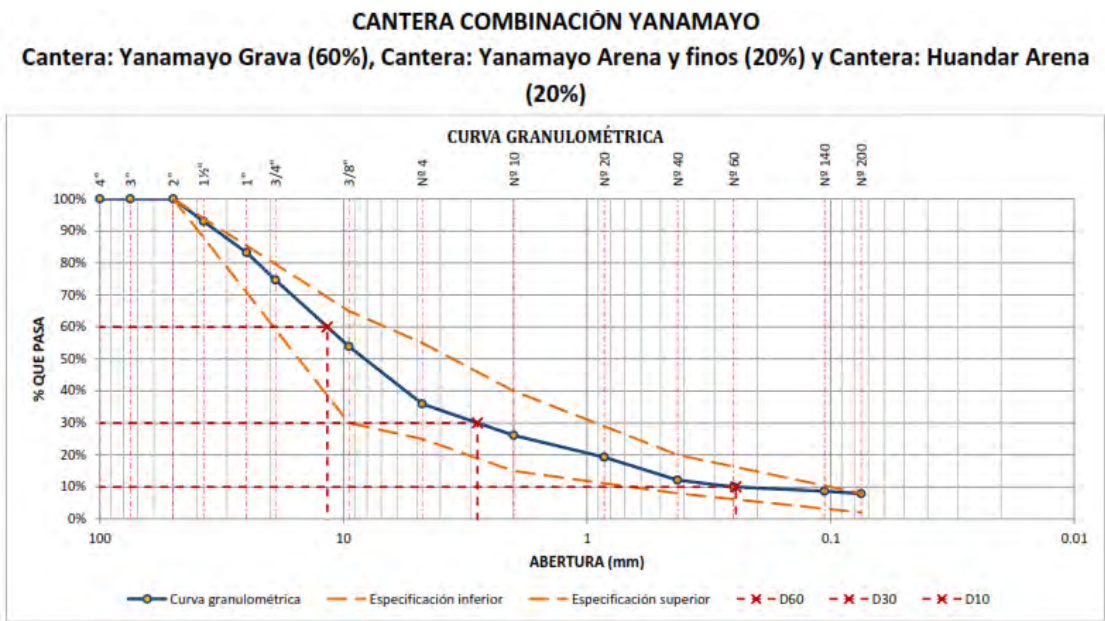
		OBTENIDO EN LABORATORIO	
Tamiz	Gradación	Cantera: Yanamayo Grava (60%), Cantera: Yanamayo Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%).	Cantera: Sencca Grava (60%), Cantera: Sencca Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%)
2"	100	100.00%	100.00%
1"	71– 85	83.23%	91.83%
3/8"	30 – 65	53.91%	51.94%
Nº 4	25 – 55	35.94%	35.95%
Nº 10	15 – 40	26.10%	26.55%
Nº 40	8 – 20	12.13%	11.74%
Nº 200	2 – 8	7.88%	7.57%

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de sub-base (p. 15) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

En la figura 56 y 57, se observa las curvas granulométricas obtenidas mediante ensayos de laboratorio para la combinación de la cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar con fines de Sub-base granular, se ajustan a las franjas granulométricas en la gradación A (1).

Figura 52

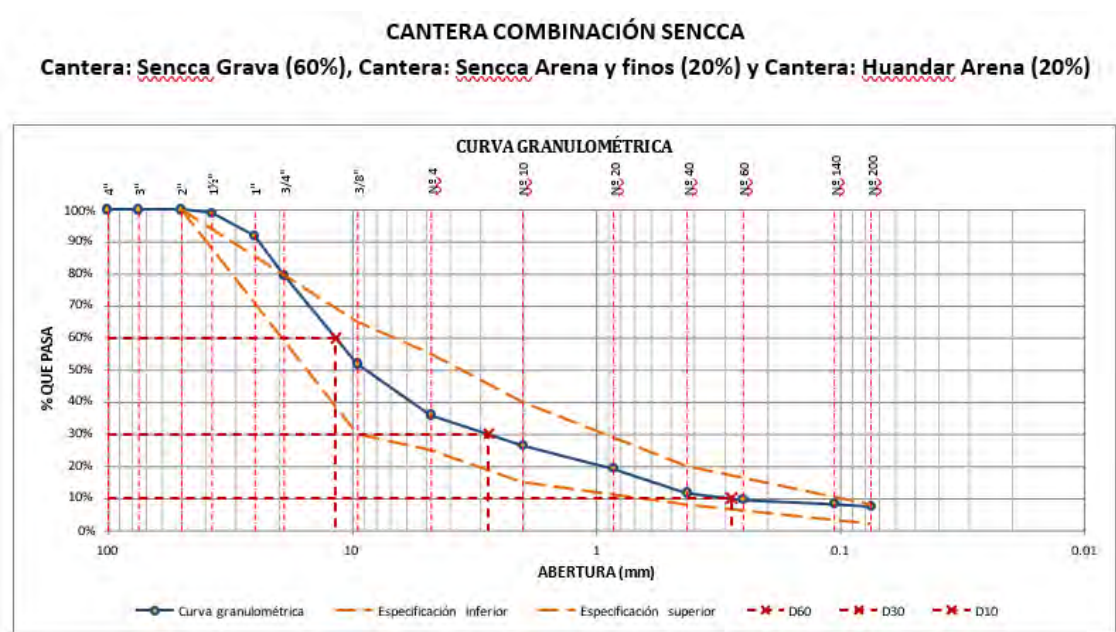
Curva granulométrica de combinación cantera Yanamayo para Sub-base granular.



Nota. Tomado de Estudio de canteras con fines de sub-base (p. 15) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 53

Curva granulométrica de combinación cantera Sencca para Sub base granular.



Nota. Tomado de Estudio de canteras con fines de sub-base (p. 16) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Las Curvas Granulométricas de la mezcla de la Cantera: Yanamayo Grava (60%), Cantera: Yanamayo Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%) se ajusta a la Gradación A, sin embargo, La mezcla de la Cantera: Sencca Grava (60%), Cantera: Sencca Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%) no se ajusta completamente dentro de los parámetros.

Además, el material debe de cumplir con los requisitos de calidad indicados en la tabla 49, de acuerdo al manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.

Tabla 47

Requerimiento de ensayos especiales para Sub-base granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40% mín.	40% mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	-	-	1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-	D 4791	-	20% máx.	20% máx.

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 171), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015).

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de los requerimientos de ensayos especiales de acuerdo con la norma y los resultados de laboratorio obtenidos para la combinación de cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar para sub-base granular.

Tabla 48

Requerimiento de ensayos especiales VS resultados de laboratorio para sub-base.

Ensayo	Requerimiento	Resultados en laboratorio para sub-base	
		Cantera: Yanamayo Grava (60%), Cantera: Yanamayo Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%)	Cantera: Sencca Grava (60%), Cantera: Sencca Arena y finos (20%) y Cantera: Huandar Arena (20%)
Desgaste por Abrasión	50% máx.	29.43%	29.74%
CBR (100% de la DSM)	40% mín.	90.10%	113.50%
Límite Líquido	25% máx.	21.52%	17.49%
Índice de Plasticidad	6% máx.	5.70%	5.28%
Equivalente de arena	25% mín.	26.86%	27.71%
Chatas y alargadas	Máx. 20%	6.86% -6.85%	6.10%-7.02%
Sales solubles	Máx. 1%	0.10%	0.12%

Nota. Tomado de Estudio de canteras con fines de sub-base (p. 16 y 17) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados y su comparación con los requisitos establecidos en la Sección 402 "Subbases Granulares" del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, se determina que la mezcla evaluada cumple con las exigencias técnicas de calidad, resistencia, durabilidad y granulometría requeridas para su utilización como material de Subbase Granular.

6.3.3 Evaluación para Base

De igual manera se ha realizado la dosificación correspondiente para la Base de tal manera que cumpla con los estándares mínimos exigidos por la normativa vigente.

Los resultados de los ensayos de laboratorio de dosificación para base serán:

Tabla 49

Resumen de ensayos con la dosificación para Base granular

Cantera y dosificación	SUCS	AASHTO	Límites de consistencia (%)			Gravas	Arenas	Finos	Proctor		C.B.R. AL 100% M.D.S.	C.B.R. AL 95% M.D.S.	Abrasión (%)	P.E
			LL	LP	IP				%H	M.D.S				
Base Cantera: Yanamayo Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)	GW	A-1-a(0)	NP	NP	NP	68.13	30.4	1.48	3.85	2.2	126.3	64.5	29.33	2.516
Base Cantera: Sencca Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)	GW	A-1-a(0)	NP	NP	NP	68.11	30.4	1.49	3.43	2.21	149.3	109.5	29.75	2.636

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 12) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Los requisitos de materiales para Base granular, según el “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015)” en el “Capítulo 4. Capas Anticontaminantes Sub-Bases y Bases” en la “Sección 403. Bases Granulares” Subsección “403.02. Materiales”, indica que: “Los materiales para la construcción de Base granular deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la tabla 52”. La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Tabla 50

Requerimiento granulométrico para Base granular

Tamiz	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 175), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14.

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de los requerimientos granulométricos de acuerdo la norma y los resultados de laboratorio obtenidos para la combinación de cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar para base granular.

Tabla 51

Requerimiento granulométrico VS resultados de laboratorio para Base granular

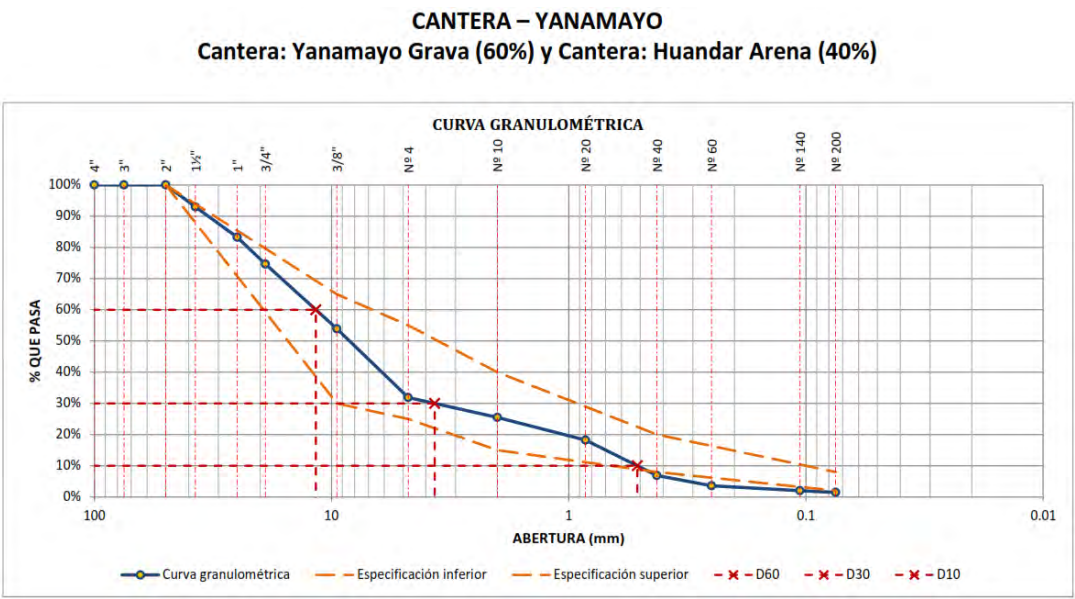
Tamiz	Gradación	OBTENIDO EN LABORATORIO	
		Cantera: Yanamayo Grava (60%) y Cantera: Huantar Arena (40%)	Cantera: Sencca Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)
2"	100	100.00%	100.00%
1"	71 – 85	83.23%	91.83%
3/8"	30 – 65	53.91%	51.95%
Nº 4	25 – 55	31.88%	31.89%
Nº 10	15 – 40	25.53%	25.55%
Nº 40	8 – 20	6.89%	6.90%
Nº 200	2 – 8	1.48%	1.49%

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 15) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

En la figura 65 y 66, se observa las curvas granulométricas obtenidas mediante ensayos de laboratorio para la combinación de la cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar con fines de Base granular, se ajustan a las franjas granulométricas en la gradación A (1).

Figura 54

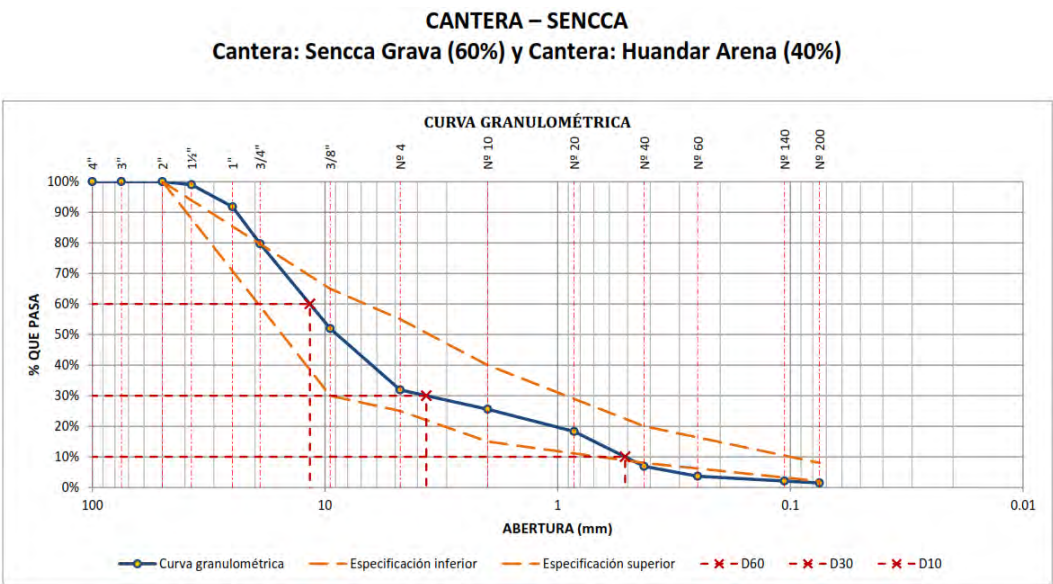
Curva granulométrica de combinación cantera Yanamayo para Base granular.



Nota. Tomado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 16) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Figura 55

Curva granulométrica de combinación cantera Sencca para Base granular.



Nota. Tomado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 16) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

Las Curvas Granulométricas de todas las canteras evaluadas se ajusta más a la gradación A. sin embargo, ninguna de las curvas está completamente dentro de los parámetros.

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que se indica en la tabla 54.

Tabla 52

Requerimiento de CBR para Base granular

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

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 175), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015).

Tabla 53

Requerimiento de CBR VS resultados de laboratorio para Base granular

Ensayo	Requerimiento	Resultados en laboratorio	
		Cantera: Yanamayo Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)	Cantera: Sencca Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)
CBR (100% de la DSM)	100% mín.	126.30%	149.30%

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 16) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.3.3.1 Para agregado grueso

Se denominará así a los materiales retenidos en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos. Deberán cumplir las características, indicadas en la tabla 55.

Tabla 54

Requerimiento agregado grueso para Base granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3,000 msnm	≥ 3,000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821	-	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821	-	40% mín.	50% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas (1)	-	D 4791	-	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 1888	-	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	-	18% máx.

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 177), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015).

En la tabla 56, se presenta el cuadro comparativo de los requerimientos de ensayos para agregados grueso de acuerdo con la norma y los resultados de laboratorio obtenidos para la combinación de cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar, para base granular.

Tabla 55*Requerimiento VS resultado de laboratorio de agregado grueso para Base granular*

Ensayo	Requerimiento	Resultados en laboratorio	
		Cantera: Yanamayo Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)	Cantera: Sencca Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)
Desgaste por Abrasión	40% máx.	29.33%	29.75%
Una (1) o más caras fracturadas	80% mín.	100.00%	98.59%
Dos (2) o más caras fracturadas	50% mín.	100.00%	98.59%
Partículas chatas	15% máx.	6.88%	6.12%
Partículas alargadas	15% máx.	6.95%	7.02%
Sales solubles	0.5% máx.	0.1052%	0.1134%
Durabilidad al sulfato de Magnesio	18% máx.	13.51%	12.47%

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 17) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.3.3.2 Para agregado fino

Se denominará así a los materiales que pasan en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesados o combinación de ambos. Deberán cumplir las características, indicadas en la tabla 57.

Tabla 56*Requerimiento agregado fino para Base granular*

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3,000 msnm	≥ 3,000 msnm
Índice plástico	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-	15%

Nota. Adaptado de Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 (p. 177), aprobado mediante R.D. N.º 22-2013-MTC/14 (edición septiembre 2015).

En la tabla 58, se presenta el cuadro comparativo de los requerimientos de ensayos para agregados fino de acuerdo con la norma y los resultados de laboratorio obtenidos para la combinación de cantera Yanamayo, cantera Sencca y cantera Huandar, para base granular.

Tabla 57

Requerimiento VS resultado de laboratorio de agregado fino para Base granular

Ensayo	Requerimiento	Resultados en laboratorio	
		Cantera: Yanamayo Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)	Cantera: Sencca Grava (60%) y Cantera: Huandar Arena (40%)
Índice de plasticidad	2% máx.	NP	NP
Equivalente de arena	45% mín.	38.53%	38.53%
Sales solubles	0.5% máx.	0.0933%	0.1224%
Durabilidad al sulfato de Magnesio	15% máx.	7.74%	7.74%

Nota. Adaptado de Estudio de canteras con fines de Base (p. 17) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados a la mezcla propuesta y su comparación con los requisitos establecidos en la Sección 403 "Bases Granulares" del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, se determina que el material cumple con los requerimientos de resistencia, durabilidad y calidad correspondientes a CBR, desgaste Los Ángeles, porcentaje de partículas con caras fracturadas, partículas chatas y alargadas, sales solubles, durabilidad frente al sulfato de magnesio, índice de plasticidad y granulometría de la mezcla.

Sin embargo, el agregado fino presenta un valor de Equivalente de Arena (EA) de 38.53%, resultado que no satisface el valor mínimo exigido para Base Granular en

proyectos emplazados a una altitud superior a 3000 msnm, conforme a lo establecido en el EG-2013.

En consecuencia, la mezcla evaluada no cumple integralmente con la totalidad de los requisitos técnicos exigidos para su aprobación como material de Base Granular, debido exclusivamente al incumplimiento del parámetro Equivalente de Arena del agregado fino.

6.4 Estabilización de taludes

6.4.1 *Fundamentos y Factores de Inestabilidad*

La estabilidad de un talud en proyectos de infraestructura vial se define como un estado de equilibrio dinámico donde las fuerzas resistentes del terreno se oponen a las fuerzas movilizadoras que tienden a generar el desplazamiento de la masa. En ingeniería de carreteras, este equilibrio se ve alterado tanto por la modificación de la geometría natural (cortes y rellenos) como por agentes externos dinámicos (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985).

6.4.1.1 El Concepto de Factor de Seguridad (FS)

El parámetro fundamental para cuantificar la estabilidad es el **Factor de Seguridad (FS)**, definido cuantitativamente como la relación entre las fuerzas que ayudan a la estabilidad y aquellas que producen la inestabilidad (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2012). Matemáticamente, se expresa como la proporción de la **resistencia al corte disponible** del suelo o roca frente al **esfuerzo cortante movilizado** a lo largo de una superficie de falla potencial (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985).

Un FS de 1.0 indica que el talud se encuentra en un estado de equilibrio crítico, donde cualquier incremento en las fuerzas impulsoras causará la falla. La inestabilidad ocurre cuando el FS es menor a 1.0, lo que indica que las fuerzas impulsoras han superado la capacidad resistente del material.

6.4.1.2 Factores Condicionantes (Intrínsecos)

Son las características internas del terreno que determinan su susceptibilidad al movimiento (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985). Los principales factores documentados incluyen:

- a) **Naturaleza Geológica y Litología:** La presencia de materiales débiles, suelos altamente sensibles o arcillas que pierden resistencia al ser remoldeadas condicionan fallas específicas. En macizos rocosos, las **discontinuidades** (estratificación, diaclasas, fallas y foliación) y su orientación desfavorable respecto a la cara del talud son determinantes para roturas planares o por cuñas.

Dentro del análisis de los taludes presentes sobre la vía, se ha podido determinar que el material predominante se divide en afloramientos de roca y suelos de cobertura cuaternaria. El basamento está constituido por la Formación Ayabacas, compuesta por calizas margosas, y la Formación Kayra, conformada por areniscas feldespáticas y lutitas rojas. Sobre estas unidades se disponen depósitos recientes de origen lacustre, coluvial, deluvial y residual, transportados por procesos hidrogravitacionales hacia las partes bajas. Estos suelos de cobertura presentan una litología variada que incluye desde limos orgánicos (ML) y arcillas plásticas (CL) hasta gravas limosas y mal clasificadas (GM, GP-GM), con matrices limo-arcillosas de plasticidad baja a media.

Bajo este entorno geológico-estructural, donde las rocas se encuentran

altamente diaclasadas (especialmente la Formación Kayra con 3 a 4 familias de discontinuidades) y los suelos poseen mediana a baja compacidad, todo talud tiene una tendencia a degradarse o a moverse, generando rupturas que los convierten en cuerpos de masas inestables. Estos movimientos de inestabilidad son causados principalmente por la gravedad y las infiltraciones de aguas de escorrentía sobre el cuerpo del talud, particularmente críticas en los depósitos residuales expansivos y lacustres poco cohesivos, lo cual rompe el ángulo de reposo y origina planos de falla sobre la superficie.

- b) **Propiedades Geotécnicas:** La cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ) definen la resistencia del material bajo el criterio de **Mohr-Coulomb**. Una baja resistencia intrínseca o procesos de meteorización reducen estos parámetros con el tiempo.
- c) **Morfología y Topografía:** La altura y la inclinación de la pendiente del talud son factores directos; a mayor pendiente, mayores son los esfuerzos cortantes inducidos por la gravedad.

6.4.1.3 Factores Desencadenantes (Extrínsecos)

Son agentes externos que actúan sobre un talud predispuesto, provocando la ruptura del equilibrio límite (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985).

- **Influencia del Agua:** Es el agente natural de mayor incidencia en la inestabilidad. La infiltración por lluvias intensas genera un incremento en la **presión intersticial** (presión de poros), lo que reduce la presión efectiva entre partículas y, consecuentemente, disminuye la resistencia al corte del terreno. Asimismo, el agua aumenta el peso de la masa deslizable (sobrecarga hidrostática) y puede causar erosión al pie del talud.

- **Sismicidad:** Los movimientos sísmicos introducen aceleraciones horizontales y verticales que generan variaciones cíclicas de esfuerzos.
- **Actividad Humana y Cargas Externas:** Las excavaciones al pie del talud para ampliar la vía eliminan el soporte lateral natural. Por otro lado, la construcción de terraplenes o la sobrecarga por **tráfico vehicular pesado** incrementan las fuerzas movilizadoras en la cabecera del talud.

6.4.1.4 Tipología de Movimientos en Carreteras

De acuerdo con la clasificación de los movimientos en masa en ingeniería vial, se distinguen diversos tipos, entre ellos desprendimientos, vuelcos, deslizamientos rotacionales y traslacionales, así como flujos y coladas.

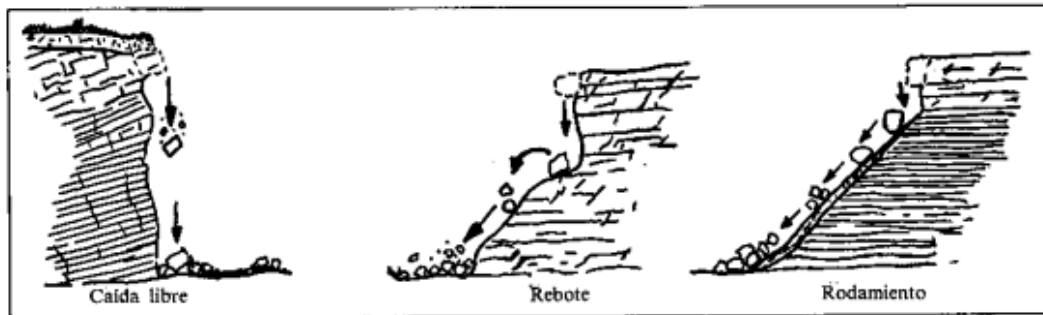
El tipo de fenómeno geodinámico externo predominante en la zona de estudio es por desprendimiento de masas y deslizamientos rotacionales, fallando dichos cuerpos por procesos de reptación de suelos en sectores saturados. Para su estabilización y remoción, se ha determinado el uso predominante de maquinaria, reservando el uso de explosivos para sectores puntuales de la Formación Ayabacas donde la competencia de la caliza lo exija.

Desprendimientos (Falls): Caída libre de bloques de roca o suelo debido a la pérdida de apoyo o a procesos de fracturación, los cuales pueden presentar trayectorias variadas. En el caso específico estudiado, el movimiento se produce por rebote, como se observa en la figura 67.

Deslizamientos Rotacionales: Comunes en suelos homogéneos, donde la superficie de ruptura es curva o circular, como se ve en la figura 68.

Figura 56

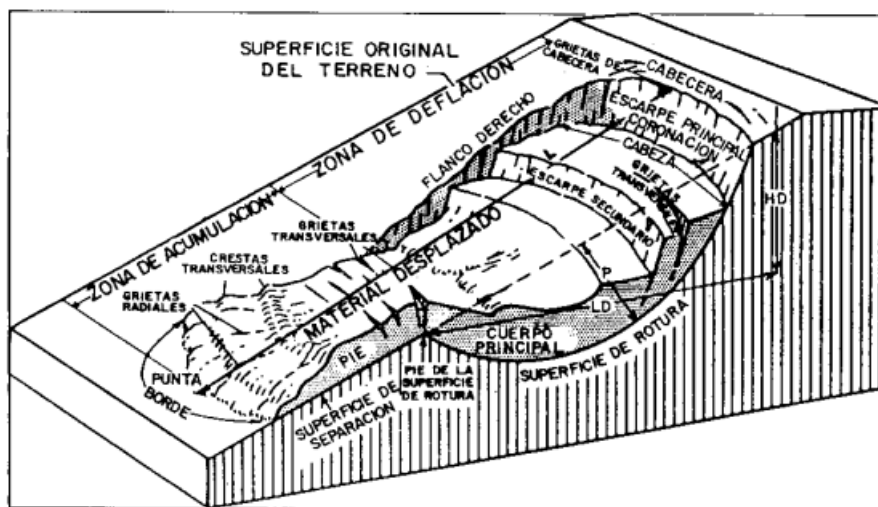
Trayectorias de un desprendimiento



Nota. Adaptado del Manual de Ingeniera de Taludes (p. 14), por Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985.

Figura 57

Esquema de un deslizamiento rotacional



Nota. Adaptado del Manual de Ingeniera de Taludes (p. 24), por Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985.

Figura 58

Vista de desprendimientos en la progresiva 06+050



Nota. Fotografía que evidencia desprendimiento, que sigue una trayectoria por rebote en la progresiva 06+050.

Figura 59

Vista del deslizamiento en la progresiva 14+230



Nota. Fotografía que evidencia deslizamiento rotacional en la progresiva 14+230 por la morfología de la masa desplazada y la presencia de un escarpe principal (la parte superior empinada y descubierta del movimiento). En la fotografía se distingue claramente el material desplazado, el cual ha perdido su postura original y presenta una superficie irregular y distorsionada. Adaptado del Estudio geológico geotécnico (p. 61) (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024)

6.4.2 Metodología de Análisis de Estabilidad

La evaluación de la estabilidad de taludes se basa primordialmente en los métodos de **Equilibrio Límite**, los cuales analizan la interacción entre las fuerzas estabilizantes (resistentes) y las fuerzas desestabilizantes (movilizantes) que actúan sobre una masa potencial de deslizamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2012). Estos procedimientos cuantifican la estabilidad mediante un **Factor de Seguridad (FS)**, asumiendo que la masa de terreno se encuentra en un estado de falla inminente a lo largo de una superficie de ruptura supuesta (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2012).

6.4.2.1 Métodos de Equilibrio Límite (Métodos de dovelas)

En la práctica de ingeniería vial, para abordar geometrías complejas y terrenos heterogéneos, se emplean los métodos de dovelas. Este enfoque consiste en subdividir la masa de suelo o roca potencialmente inestable en una serie de **rebanadas o fajas verticales**. Al discretizar la masa, se puede considerar la variación de las propiedades del material, la geometría del talud y las presiones de agua en la base de cada dovela.

Dado que el número de incógnitas (fuerzas normales, tangenciales, puntos de aplicación y el FS) supera el número de ecuaciones de equilibrio estático disponibles, el problema es **estáticamente indeterminado**. Por ello, cada método de dovelas plantea

suposiciones específicas sobre las fuerzas de inter-dovela para permitir una solución matemática (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1985).

6.4.2.2 Método Aproximado: Janbu

Duncan et al. (2014), en su obra menciona que los métodos aproximados satisfacen solo algunas de las condiciones de equilibrio estático:

- **Método de Janbu Simplificado:** Se aplica a superficies de deslizamiento de **cualquier forma** (no solo circulares). Al igual que Bishop, asume fuerzas inter-dovelas horizontales. Sin embargo, solo satisface el equilibrio de fuerzas, lo que suele derivar en una subestimación del factor de seguridad. Para corregir esto, se requiere la aplicación de un **factor de corrección (f_0)** basado en la geometría del talud.

6.4.2.3 Modelamiento numérico asistido por Software Slide

El software **Slide V. 6.004** nos permitió el análisis bidimensional de estabilidad mediante métodos de equilibrio límite de dovelas. El flujo de trabajo del programa incluye:

- Búsqueda de Superficie Crítica:** Permite identificar el **Mínimo Global**, que es la superficie con el FS más bajo. Se emplea el *Grid Search* para fallas circulares (típicas en suelos) y el *Auto Refine Search* para fallas no circulares (típicas en rocas con capas débiles).
- Configuración de Materiales:** Se asignan propiedades de **peso unitario (γ)** y parámetros de resistencia diferenciados según el tipo de material: para los **suelos**, se requiere definir la **cohesión (c)** y el **ángulo de fricción (ϕ)** bajo el criterio lineal de **Mohr-Coulomb**.

c. Análisis de Sensibilidad y Probabilístico: Slide facilita la identificación de parámetros críticos que afectan la estabilidad y permite cuantificar la **probabilidad de falla** ante la incertidumbre de los datos de entrada.

Es importante mencionar que para el Análisis Pseudoestático, el coeficiente sísmico se ingresa en las estadísticas de carga (Seismic Load), lo cual desplaza la superficie crítica y reduce el factor de seguridad calculado.

6.4.3 Parámetros de Diseño y Normatividad

La fundamentación normativa de la estabilidad de taludes en proyectos viales se rige por las directrices técnicas que garantizan el equilibrio de las estructuras y la seguridad de los usuarios ante fenómenos geodinámicos. Este marco establece los criterios mínimos aceptables para la resistencia de los materiales y el comportamiento estructural de las laderas.

6.4.3.1 Consideraciones de la Norma CE.020 y Manual de Carreteras

La **Norma CE.020 "Estabilización de Suelos y Taludes"** es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional para cualquier estudio que involucre el mejoramiento de la resistencia de suelos y laderas. Sus principales exigencias incluyen:

- **Evaluación Integral:** Obliga al profesional responsable a considerar criterios de mecánica de suelos, flujo de agua, geodinámica del área, geometría y topografía del entorno.
- **Factores de Seguridad (FS):** Un talud se considera estable bajo condiciones de diseño vial cuando alcanza un **factor de seguridad mínimo de 1.5 para condiciones estáticas y 1.25 para condiciones sísmicas (análisis pseudo-estático)**

Si el diseño no alcanza estos valores, se deben implementar métodos de estabilización como la modificación geométrica, sistemas de drenaje o la introducción de fuerzas resistentes mediante muros o anclajes.

- **Geometría Referencial:** El Manual de Carreteras (Sección Suelos y Pavimentos) proporciona tablas de **relaciones de talud (V:H)** sugeridas según la clase de terreno, como vemos en tabla 59.

Tabla 58

Taludes de corte

CLASE DE TERRENO	TALUD (V:H)		
	V ≤ 5m	5m < V ≤ 10m	V > 10m
Roca Fija	10 : 1	10 : 1 (*)	(**)
Roca Suelta	6 : 1 - 4 : 1	4 : 1- 2 : 1 (*)	(**)
Conglomerados Cementados	4 : 1	(*)	(**)
Suelos Consolidados Compactos	4 : 1	(*)	(**)
Conglomerados Comunes	3 : 1	(*)	(**)
Tierra Compactax	2 : 1 - 1:1	(*)	(**)
Tierra Suelta	1 : 1	(*)	(**)
Arenas Sueltas	1 : 2	(*)	(**)
Zonas blandas con abundante arcillas o zonas humedecidas por filtraciones	1 : 2	(*)	(**)

Nota. Adaptado del Manual de carreteras. Suelos geología, geotecnia y pavimentos.

Sección suelos y pavimentos (p. 40), por Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014.

6.4.3.2 Solicitaciones de Análisis

Según la norma CE.020 se deben considerar dos escenarios de solicitud obligatorios: condiciones estáticas y condiciones sísmicas. Este proceso cuantifica la

interacción entre las fuerzas que resisten el movimiento (resistencia al corte) y las fuerzas que lo provocan (peso de la masa, sobrecargas y aceleración sísmica).

- a. **Análisis Estático:** El análisis estático evalúa la estabilidad del talud bajo la acción de cargas permanentes, principalmente el peso propio de la masa de suelo o roca y las presiones hidrostáticas presentes.

Se requiere la definición de la cohesión (c), el ángulo de fricción interna (ϕ) y el peso unitario (γ) de cada estrato identificado en el perfil estratigráfico del tramo.

- b. **Análisis Pseudoestático:** Incorpora los efectos de un evento sísmico mediante la aplicación de una **fuerza horizontal estática** constante sobre la masa potencial de deslizamiento. Esta fuerza es el producto de un coeficiente sísmico horizontal (k_H) y el peso de la masa deslizable (W). Por lo general, los componentes verticales de la aceleración sísmica se desprecian en este método.

Según la normativa peruana, el análisis debe basarse en un sismo con un periodo de retorno de 475 años.

Los parámetros de diseño Sísmico basados en la Norma E.030 Diseño Sismorresistente para la zona de investigación son:

- **Zonificación Sísmica:** De acuerdo con el Anexo N° 1 de la norma se encuentra ubicada en la **Zona Sísmica 2**.
- **Factor de Zona (Z):** Para la Zona 2, el factor Z asignado es de **0.25**. Este valor representa la aceleración máxima horizontal (PGA) en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años (periodo de retorno de 475 años)
- **Determinación de k_H :** En la práctica de ingeniería y manuales de estabilidad, el coeficiente sísmico horizontal (k_H) para el análisis en **Slide** se determina

frecuentemente como una fracción del Factor de Zona (Z) o de la aceleración máxima (PGA), situándose comúnmente en un rango de **0.12 a 0.15** (equivalente a $1/2$ o $2/3$ de Z) para esta zona, salvo estudio de sitio específico. Para la carretera, el coeficiente sísmico se encuentra en un rango entre 0.125 y 0.167, siendo recomendable utilizar un valor de 0.15 en el modelamiento realizado con Slide.

- **Tipo de suelo:** S2 y S3, correspondiente a suelos rígidos y suelos intermedios
- **Factor de suelo (S), Periodo T_P en segundos y Periodo T_L en segundos:**
De acuerdo con la normativa, los valores exactos dentro de estos intervalos deben definirse mediante interpolación lineal en función de la velocidad de las ondas de corte (V_s). Al no contar con la información específica de la velocidad de ondas de corte (V_s), la norma establece que se deben adoptar los valores más conservadores (los mayores del intervalo para S y T_P , y los menores para T_L).

Tabla 59
Resumen de parámetros diseño sísmico

Parámetro de diseño	Magnitud
Zona	2
Factor de zona Z (PGA)	0.25
Coeficiente sísmico horizontal (k_H)	0.15
Tipo de suelo	S3
Factor de suelo S	1.4
Periodo T_P (s)	0.9
Periodo T_L (s)	1.6

El análisis pseudo-estático se considera inherentemente conservador porque reemplaza una carga cíclica transitoria (que dura segundos) con una fuerza constante actuante durante toda la vida útil del talud. Por esta razón, se permite

un **FS menor a 1.25** en comparación con la condición estática (1.5). Este método es apropiado solo si el suelo no pierde más del 15% de su resistencia debido a cargas cíclicas; de lo contrario, se requerirían análisis dinámicos complejos.

6.4.4 *Análisis de Estabilidad de taludes*

Esta sección presenta los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa de la carretera departamental CU-145. El análisis se centra en determinar la interacción entre las fuerzas estabilizantes y desestabilizantes para identificar la susceptibilidad al movimiento en los puntos más vulnerables del trazado.

6.4.4.1 Selección y caracterización de las secciones críticas del tramo

La selección de las secciones de análisis en el tramo **Chinchoero – Piuray – Quispihuara – Sencca** se realizó mediante un reconocimiento previo de los procesos geodinámicos y la identificación de zonas de riesgo, tales como deslizamientos activos o laderas con discontinuidades severas. De acuerdo con los criterios del manual (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2012), se priorizaron sectores con las siguientes características:

- **Topografía y Geometría:** Zonas con pendientes empinadas o cortes de gran altura (mayores a 10 metros), donde los esfuerzos cortantes inducidos por la gravedad son máximos.
- **Evidencia de inestabilidad:** Áreas con signos de movimientos antiguos, grietas de tensión o desprendimientos previos documentados en las fichas de campo.
- **Condiciones Geotécnicas:** Sectores donde la exploración mediante calicatas y ensayos de laboratorio reveló materiales de baja capacidad de soporte (CBR < 6%) o suelos altamente sensibles.

En base a estas características se seleccionaron 09 sectores, los cuales serán analizados en este capítulo. Para cada sección de cada sector seleccionado, se definió un **modelo bidimensional** que integra la estratigrafía del terreno y las propiedades de los materiales (peso unitario γ , cohesión c y ángulo de fricción ϕ).

Los valores de las propiedades de los materiales fueron obtenidos a partir de exploraciones geotécnicas mediante la apertura de calicatas en campo y la ejecución de los correspondientes ensayos en laboratorio de suelos. A partir de ello, se determinaron las propiedades físico-mecánicas de los **suelos**, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 60

Resumen de propiedades físico-mecánicas de taludes de suelo

N°	Progresivas	Talud	SUCS	Peso unitario (γ)		Cohesión (c)		Ángulo de fricción (ϕ)
				g/cm ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	(°)
1	03+100	1H:3V	ML	1.17	11.52	0.16	15.66	22.00
2	05+480	1H:3V	GM	1.13	11.13	0.20	19.64	27.00
3	05+890	1H:3V	GM	1.14	11.19	0.10	9.83	25.00
4	06+260	1H:3V	ML	1.16	11.41	0.16	15.70	18.00
5	06+600	1H:3V	GM	1.16	11.38	0.14	13.76	26.50
6	08+445	1H:5V	GM	1.13	11.09	0.10	9.84	33.20
7	08+670	1H:5V	GM	1.16	11.36	0.12	11.78	30.50
8	10+890	1H:3V	ML	1.13	11.08	0.08	7.86	16.00
9	11+720	1H:3V	ML	1.16	11.41	0.10	9.81	18.00

Nota. Adaptado del Estudio de estabilidad de taludes (p. 20) y resultados de laboratorio (Gobierno Regional del Cusco (SGEP), 2024).

6.4.4.2 Resultados del modelamiento en estado actual (Estático y Sísmico)

Los modelamientos numéricos de los taludes de suelo se ejecutaron utilizando el software **Slide**, aplicando el método Janbu simplificado para localizar el **mínimo global** del Factor de Seguridad (FS). Se utilizó este método debido a su capacidad para modelar

superficies de falla no circulares y compuestas. El empleo de este método se sustenta en su cumplimiento del equilibrio de fuerzas horizontales y verticales, y en su tendencia a proporcionar factores de seguridad conservadores. Los resultados reflejan el estado actual de los taludes antes de cualquier medida de remediación y se presentan en la tabla 62.

Tabla 61

Resumen de resultados de FS para taludes de suelo, método Janbu simplificado

	N°	Progresivas	Estático	Pseudoestático
	1	03+100	1.869	1.534
	2	05+480	2.156	1.811
	3	05+890	1.141	0.934
	4	06+260	1.523	1.261
	5	06+600	1.301	1.066
	6	08+445	0.947	0.751
	7	08+670	1.005	0.805
	8	10+890	0.785	0.651
	9	11+720	0.787	0.627

Figura 60

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 03+100, análisis estático método Janbu simplificado

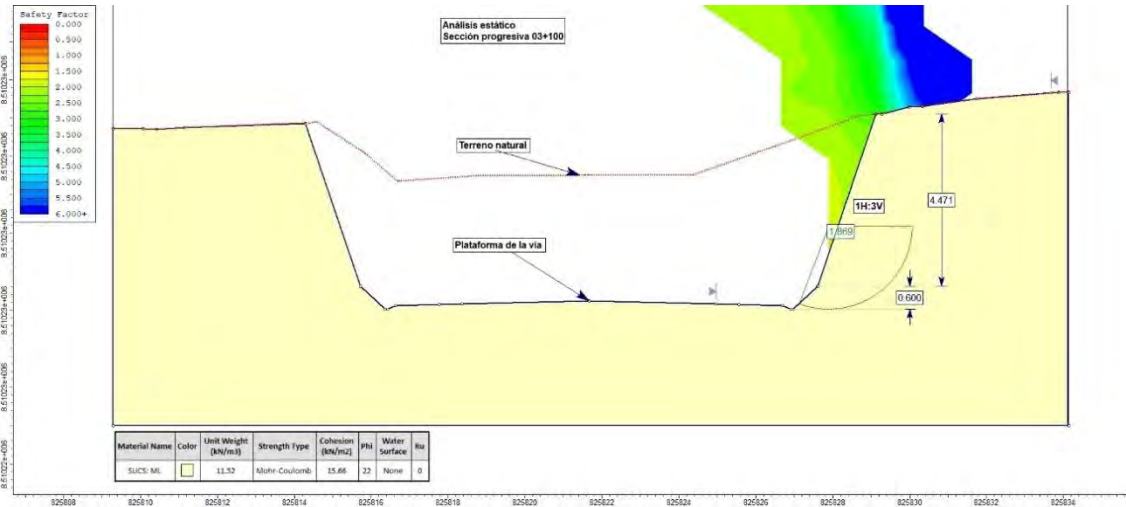


Figura 61

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 03+100, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

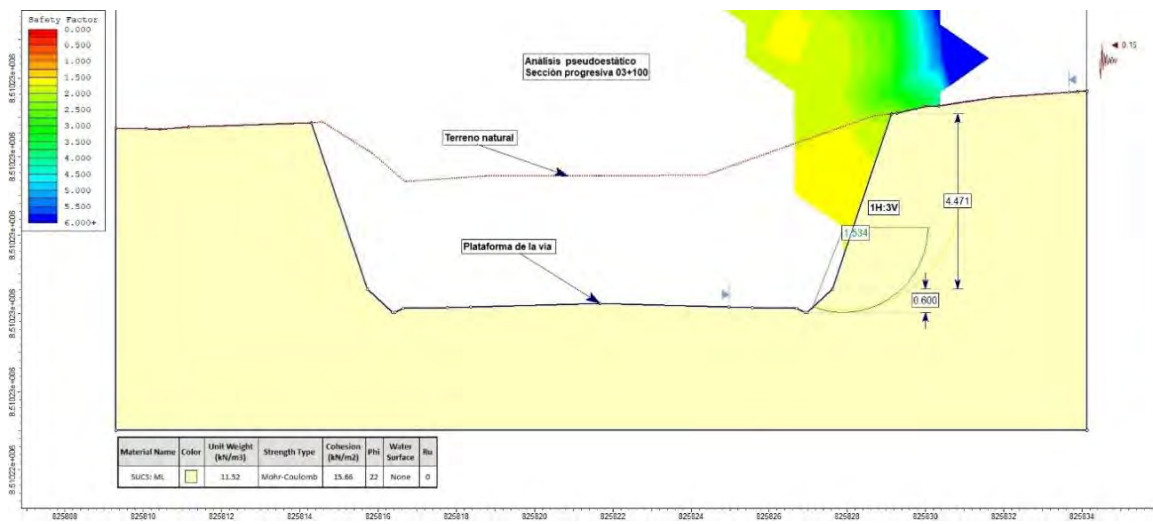


Figura 62

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 05+480, análisis estático método Janbu simplificado

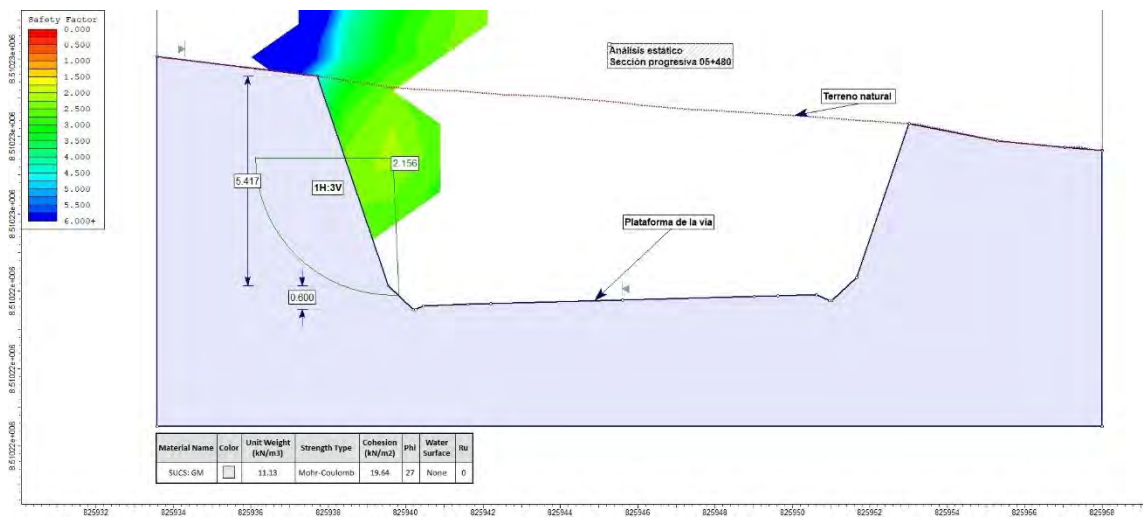


Figura 63

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 05+480, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

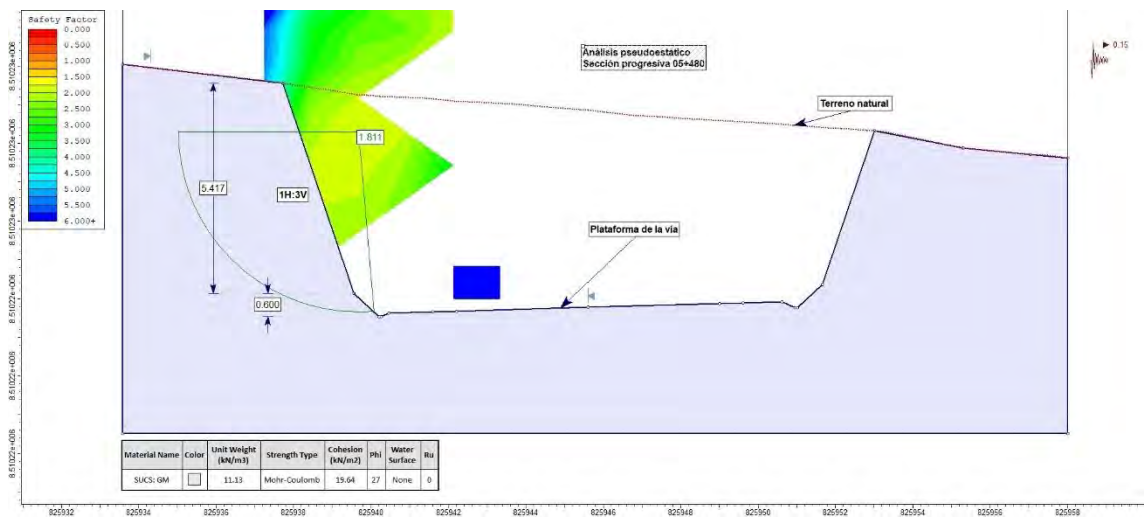


Figura 64

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 05+890, análisis estático método Janbu simplificado

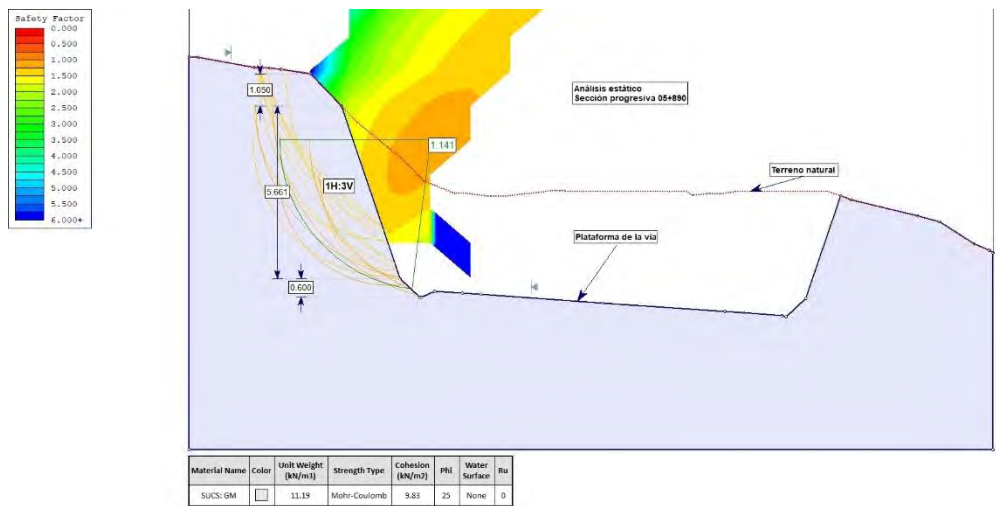


Figura 65

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 05+890, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

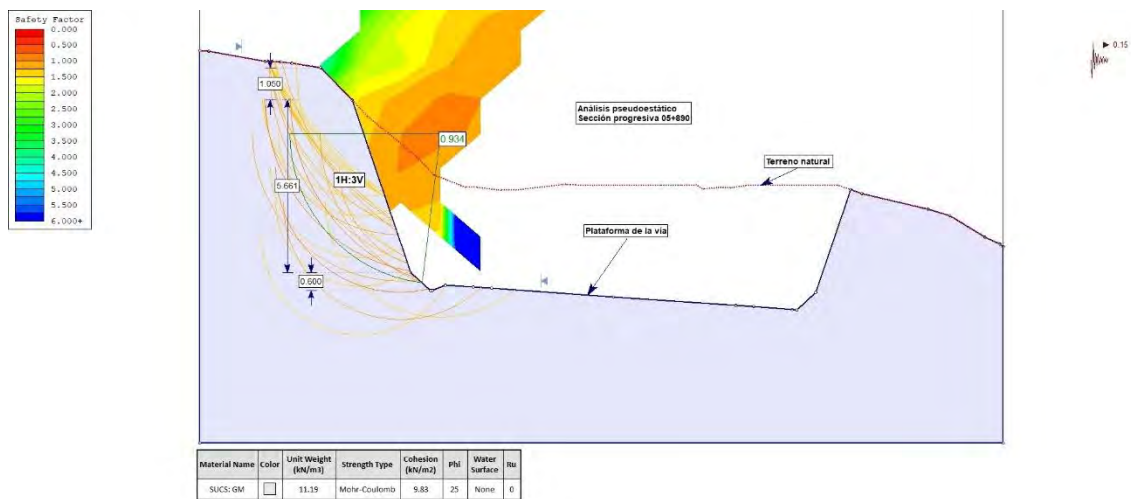


Figura 66

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 06+260, análisis estático método Janbu simplificado

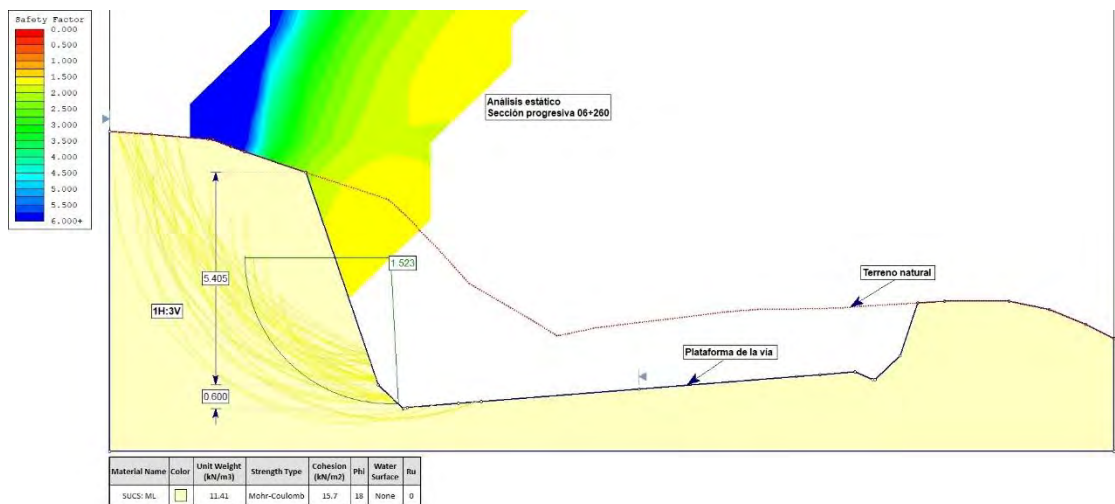


Figura 67

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 06+260, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

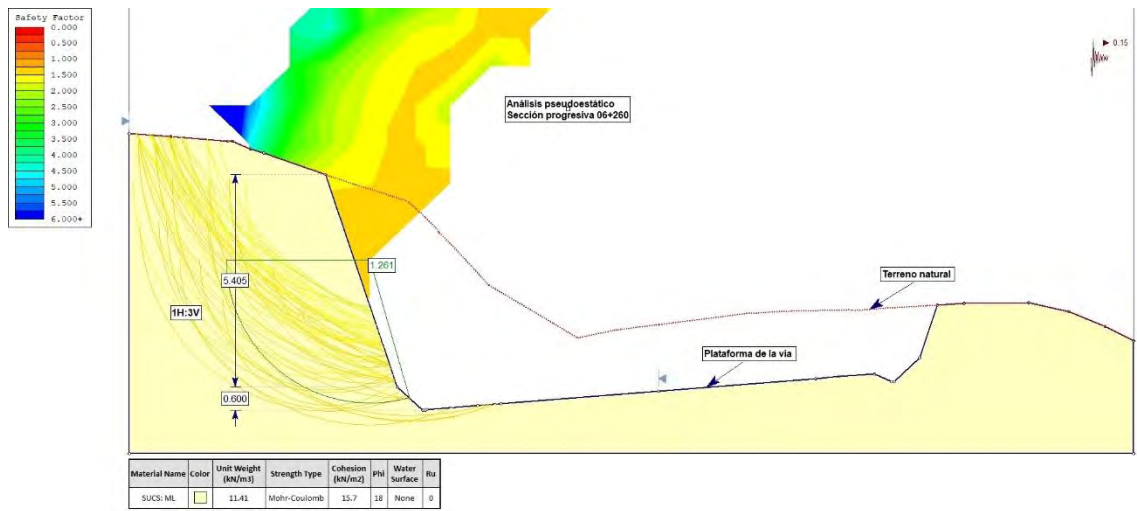


Figura 68

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 06+600, análisis estático método Janbu simplificado

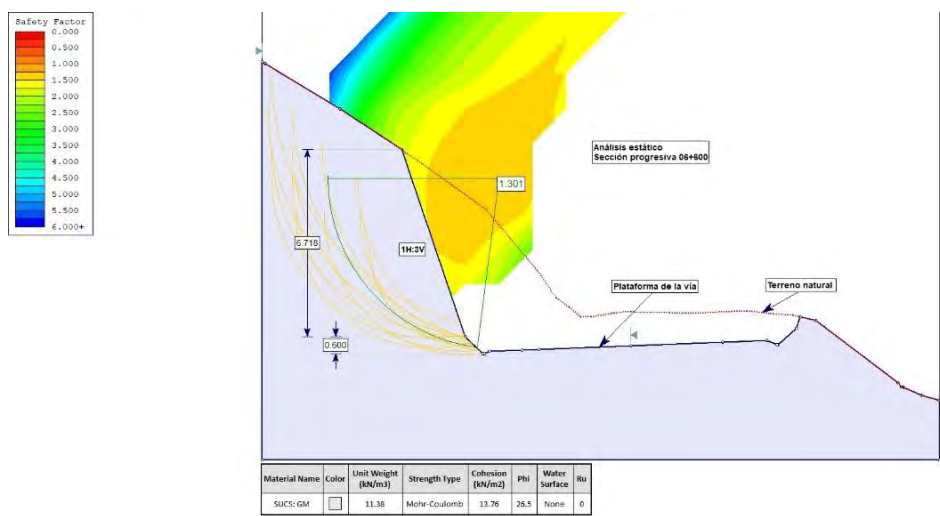


Figura 69

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 06+600, análisis pseudoestático método Janbu simplificado.

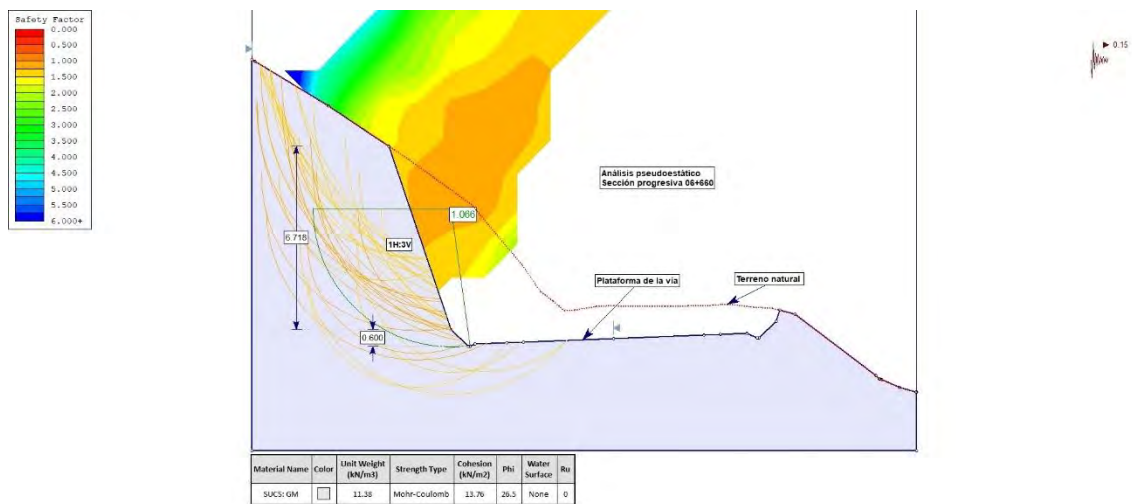


Figura 70

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 08+445, análisis estático método Janbu simplificado.

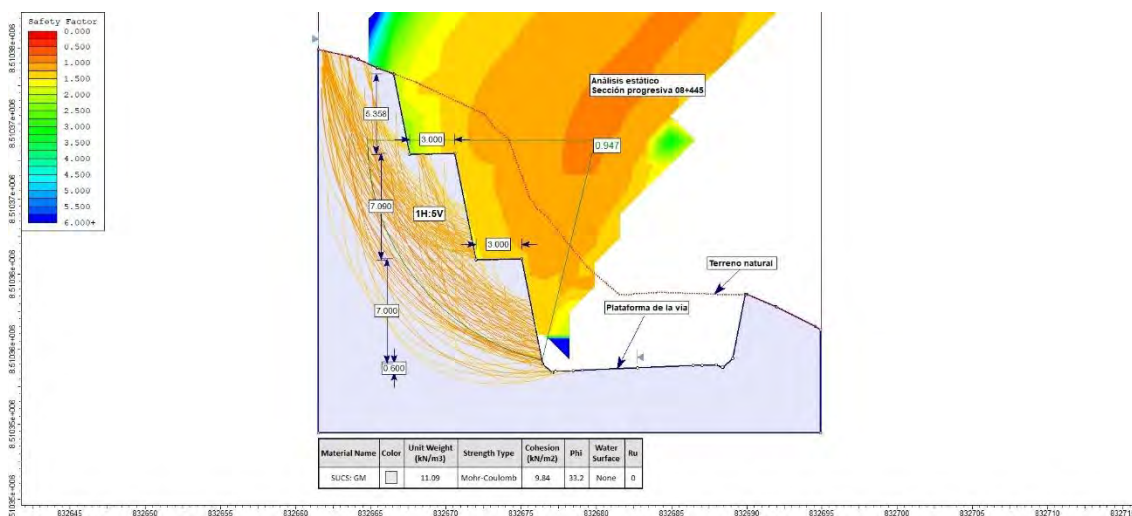


Figura 71

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 08+445, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

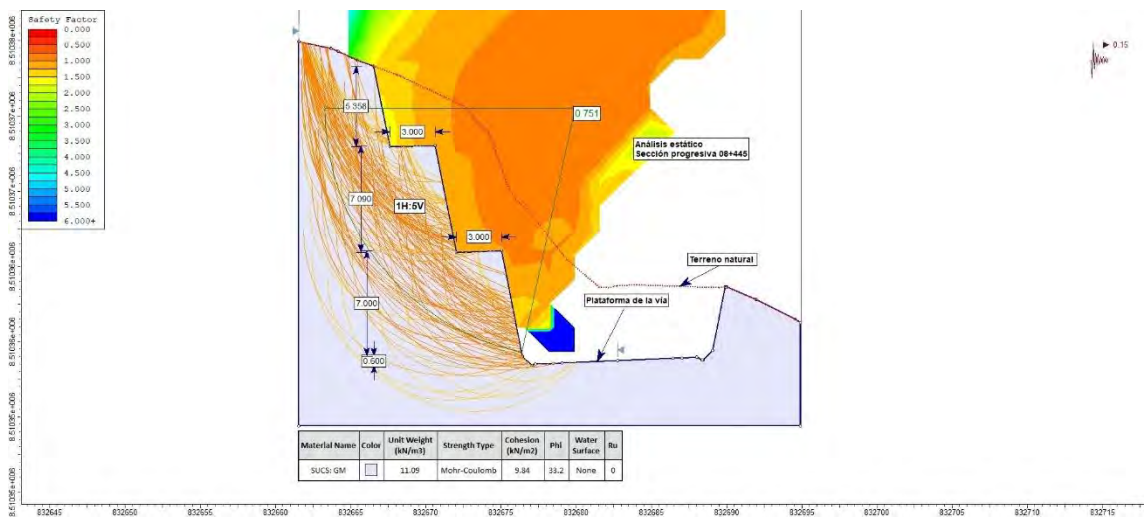


Figura 72

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 08+670, análisis estático método Janbu simplificado

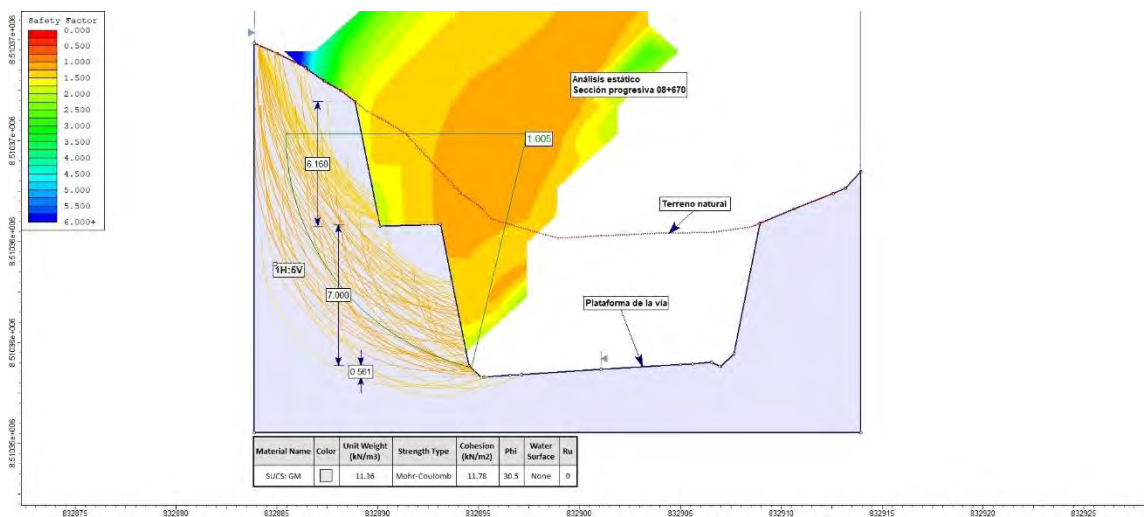


Figura 73

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 08+670, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

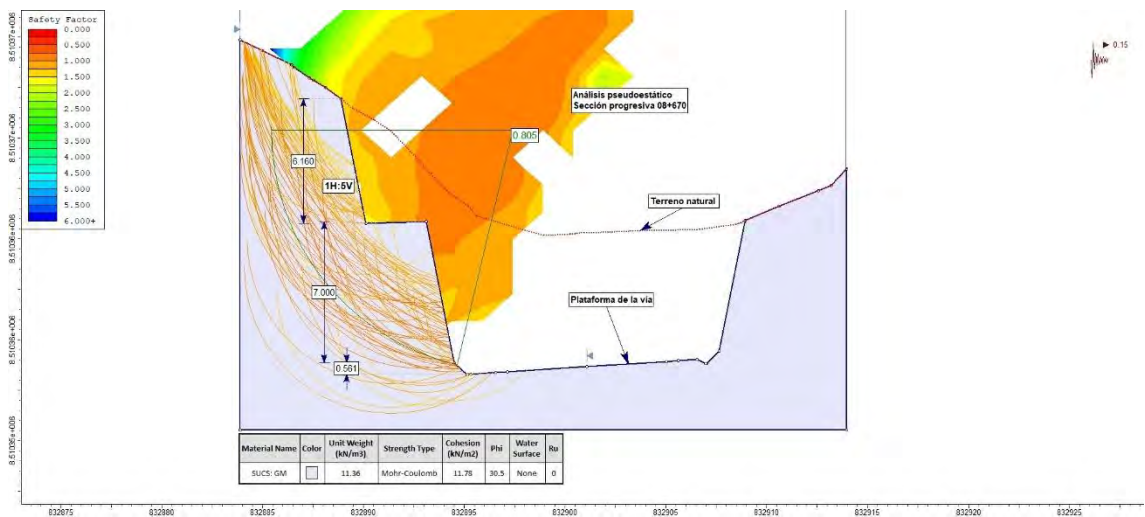


Figura 74

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 10+890, análisis estático método Janbu simplificado

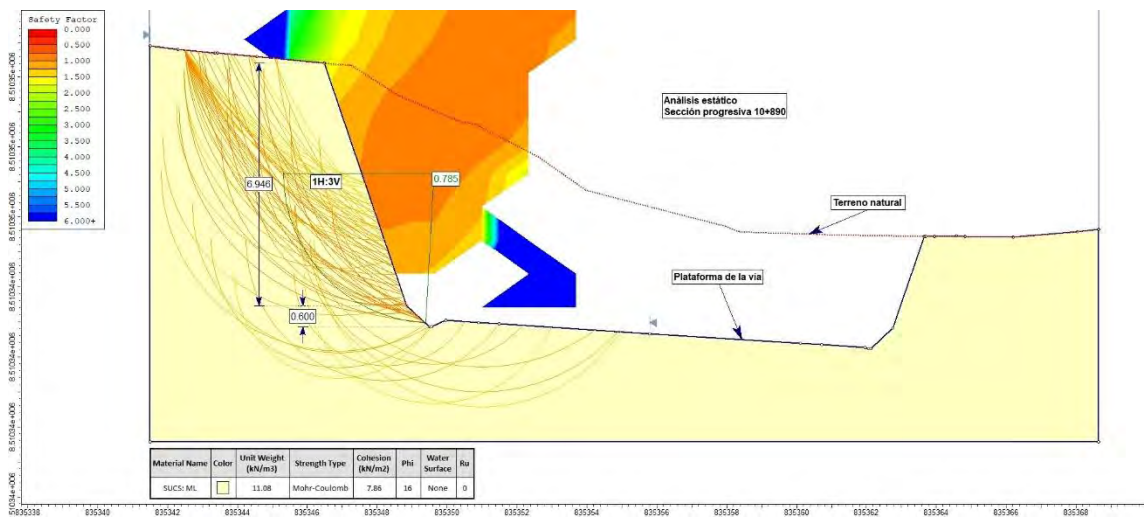


Figura 75

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 10+890, análisis pseudoestático método Janbu simplificado

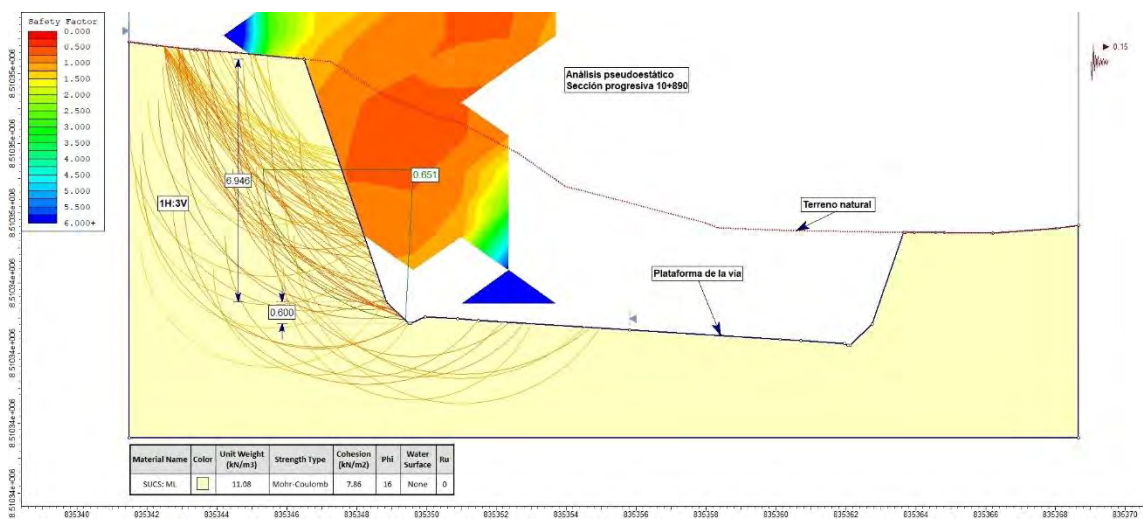


Figura 76

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 11+720, análisis estático método Janbu simplificado

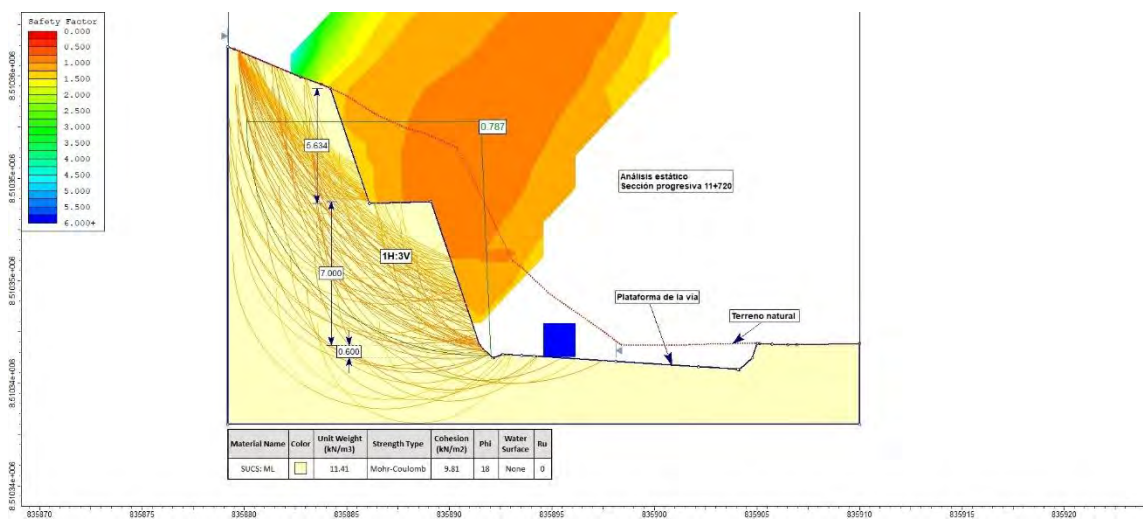
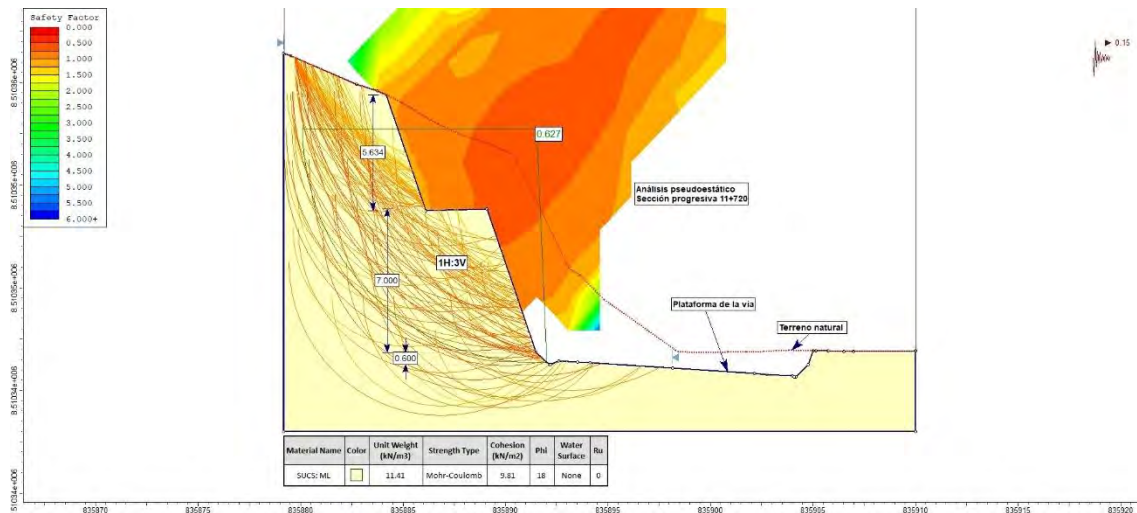


Figura 77

Modelamiento en Slide para el talud ubicado en la progresiva 11+720, análisis pseudoestático método Janbu simplificado



6.4.5 Medidas de Estabilización y Remedición

En la norma CE.020 el diseño de medidas de estabilización constituye la fase final de ingeniería, donde se implementan soluciones integrales capaces de incorporar un equilibrio suficiente y sostenible al talud, atendiendo tanto a criterios gravitatorios como sísmicos. La selección de los métodos se fundamenta en el análisis de los taludes considerados vulnerables a desprendimientos de masas y deslizamientos rotacionales, para los cuales se han determinado los métodos más adecuados, siendo los siguientes:

6.4.5.1 Modificación Geométrica

Consiste en la reducción de los esfuerzos cortantes mediante el suavizado de la inclinación del talud, el corte de la cresta para aliviar peso o la implementación de banquetas; son soluciones comunes para reducir el ángulo efectivo del talud y protegerlo contra la erosión e infiltración.

Al disminuir la pendiente del talud, el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentando de esta forma el factor de seguridad, siendo el abatimiento de la pendiente del talud económicamente posible en taludes de poca altura, como los vistos en la zona de estudio.

6.4.5.2 Sistemas de Drenaje

Dado que el agua es el principal factor de inestabilidad, estas medidas tienen como objetivo fundamental reducir las presiones intersticiales (presión de poros) para incrementar la tensión efectiva y, por ende, la resistencia al corte del terreno. El control del agua es considerado la medida de estabilización más costo-efectiva para grandes masas de suelo, ya que actúa directamente sobre la causa raíz de la falla (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

De acuerdo con los requerimientos del proyecto, se consideran los siguientes sistemas:

- Drenaje superficial: Se basa en la implementación de zanjas de coronación revestidas (concreto o mampostería) y canales laterales. Su función es captar y desviar el agua de escorrentía proveniente de las partes altas de la ladera antes de que esta se infiltre en el cuerpo del talud o genere erosión en la superficie del corte. Estas estructuras deben garantizar un flujo rápido hacia los puntos de descarga (alcantarillas de alivio) para evitar el empozamiento (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).
- Drenaje subterráneo: Orientado a deprimir el nivel de la napa freática y captar corrientes de agua internas mediante el uso de subdrenes. Estos elementos interceptan las filtraciones subterráneas que, de otro modo, aumentarían los

empujes hidrostáticos y reducirían la cohesión del material, comprometiendo la estabilidad de la plataforma vía (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

6.4.5.3 Estabilización Biotécnica y Protección Superficial

El empleo de vegetación se define como un método preventivo y correctivo esencial para mitigar fallas por erosión en laderas y taludes adyacentes a la infraestructura vial. De acuerdo con la Norma CE.020, la protección de la superficie contra la erosión es un componente necesario para otorgar sostenibilidad a cualquier solución integral de estabilización. Esta medida cumple dos funciones mecánicas y de control hídrico fundamentales: Disminuye el contenido de agua en la parte superficial del talud y proporciona consistencia al terreno a través del entramado mecánico de sus raíces, las cuales actúan como un refuerzo natural que incrementa la cohesión del material y lo vincula a estratos más estables.

De acuerdo con el Anexo 8.1 de la Norma CE.020, se deben considerar las siguientes características para la selección del tipo de vegetación:

- Pastos: Son versátiles, económicos y ofrecen una alta densidad de cobertura, aunque requieren mantenimiento periódico y poseen raíces poco profundas
- Arbustos y Hierbas: Presentan raíces más profundas que los pastos, mejorando la fijación de la capa superficial de suelo
- Biomantas: En sectores con pendientes pronunciadas donde la siembra directa es difícil, se recomienda el uso de mantas con semillas (biomantas) o geotextiles para proteger el talud durante la fase de crecimiento de la vegetación

6.4.5.4 Elementos Resistentes y Refuerzo

De acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad, se evidencia que una gran parte de los sectores evaluados no alcanzan los niveles de seguridad exigidos por la norma **CE.020** ($FS \geq 1.5$ estático y $FS \geq 1.25$ pseudoestático). Es especialmente crítica la situación desde la progresiva **08+445 hasta la 11+720**, donde los factores de seguridad en condición pseudoestática caen por debajo de **0.80**, indicando una inestabilidad inminente.

Para mitigar este riesgo en macizos de suelo, se consideran las siguientes alternativas de refuerzo:

6.4.5.4.1 Soportes Activos

En el contexto de suelos, los soportes activos consisten principalmente en **anclajes al terreno pretensados**, los cuales se instalan para aplicar fuerzas de restricción sobre la masa inestable antes de que se manifiesten desplazamientos significativos (Duncan, Wright, & Brandon, 2014).

- **Anclajes al terreno pretensados:** Estos elementos trabajan "atirantando" la masa de suelo. Se introducen mediante perforaciones que atraviesan la superficie de falla potencial y se fijan en un estrato de suelo firme o en el basamento rocoso subyacente. Al ser tensados contra una estructura de reparto (como una viga frame o pantalla de concreto), aplican una carga activa que incrementa la tensión normal en la superficie de rotura, mejorando la resistencia por fricción.

Se recomienda su implementación técnica prioritaria en las secciones con deficiencia severa de estabilidad: Tramo 08+445 a 11+720: Estos sectores presentan factores de seguridad críticos (desde 0.947 hasta 0.785 en estático). En

estos casos, los anclajes deben diseñarse para absorber la diferencia entre la fuerza resistente actual y la requerida por norma, permitiendo que el modelo de cálculo disminuya la fuerza de impulso en el Factor de Seguridad.

6.4.5.4.2 *Soportes Pasivos*

A diferencia de los activos, estos solo desarrollan su capacidad resistente **después de que se ha manifestado un movimiento** inicial dentro del talud.

Estructuras de Contención: Las estructuras de contención son elementos rígidos o flexibles diseñados para proporcionar un apoyo físico al pie del talud, con el objetivo de resistir el empuje activo de la masa de tierra y redistribuir las tensiones para evitar el movimiento lateral.

- **Muros de Gravedad**

Son estructuras que basan su estabilidad principalmente en su **propio peso** para contrarrestar los empujes del suelo. Se construyen comúnmente de **concreto masivo (ciclópeo)** o **mampostería de piedra**. En el caso de muros de concreto, el ancho de la base suele ser aproximadamente la mitad de su altura, lo que implica un alto consumo de material. Se consideran soluciones robustas pero poco flexibles ante impactos o asentamientos diferenciales marcados. Para muros de hasta 5 metros de altura, se recomienda un ancho de corona (b_0) entre 0.25 y 0.3 de la altura (H), y un ancho de base (b) entre 0.4 y 0.6 de H (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2012)

- **Muros de Gaviones**

Constituyen una variante de muro de gravedad compuesta por cestas de **mallado de alambre galvanizado** rellenas de piedra natural. Tienen la capacidad de tolerar

grandes deformaciones y asentamientos del terreno sin perder su resistencia estructural, adaptándose a cimentaciones irregulares. Su naturaleza porosa permite el paso libre del agua, evitando la acumulación de **presiones hidrostáticas** detrás del muro, lo que los hace ideales para taludes húmedos o con filtraciones. Son comparativamente económicos ya que permiten el uso de materiales pétreos de la zona y no requieren mano de obra altamente especializada para su armado.

6.4.5.4.3 Geosintéticos

El uso de materiales sintéticos permite la estabilización mecánica de los suelos mediante dos mecanismos principales:

- **Geomallas:** Proporcionan refuerzo mediante la trabazón de partículas, permitiendo distribuir las cargas en áreas mayores y disipar tensiones internas.
- **Geotextiles:** Cumplen funciones de separación (evitando la migración de finos) y refuerzo a la tracción, mejorando significativamente la capacidad de carga de la subrasante y la estabilidad de terraplenes.

DISCUSION DE RESULTADOS

La presente investigación se propuso caracterizar geológica y geotécnicamente el tramo vial Chinchero – Piuray – Quispihuara – Sencca para identificar los factores que comprometen su transitabilidad. Los hallazgos revelan una interacción crítica entre la calidad deficiente de la subrasante, la inestabilidad de los taludes y procesos geodinámicos activos, lo cual valida la hipótesis de que los parámetros actuales influyen en la operatividad de la vía.

El objetivo general de determinar los parámetros geotécnicos que afectan la transitabilidad en la vía, se cumplió al identificar que el 81.82% de la subrasante se encuentra en una condición de "regular a inadecuada", con valores de CBR tan bajos como 1.20%. Estos datos respaldan la hipótesis específica sobre la deficiencia mecánica del suelo ya que los parámetros geotécnicos comprometen la transitabilidad vial. En cuanto a la estabilidad, el hallazgo de un Factor de Seguridad (FS) promedio de 1.05 en condiciones pseudoestáticas confirma que la vía no solo es vulnerable ante lluvias, sino que presenta un riesgo de colapso inminente ante eventos sísmicos de diseño, presentándose 1.28 en promedio para condiciones estáticas.

Se identificó un patrón especial de inestabilidad crítica concentrado entre las progresivas 08+445 y 11+720. En este sector, los factores de seguridad en condición estática son inferiores a 1.0, lo que indica que el terreno se encuentra técnicamente en estado de falla antes de cualquier perturbación externa. Otro patrón relevante es la correlación entre la ausencia de sistemas de drenaje y la formación de cárcavas y procesos erosivos en sectores muy sensibles (S.C.8 al S.C.11). Esto coincide con la literatura que señala al agua como el agente de mayor incidencia en la pérdida de resistencia al corte por el incremento de presiones intersticiales.

Al contrastar los resultados con la Norma CE.020, se evidencia un incumplimiento generalizado: mientras la norma exige un FS mínimo de 1.5 (estático) y 1.25 (sísmico), el tramo evaluado presenta valores promedio de 1.28 y 1.05 respectivamente. Los resultados de suelos predominantemente limos orgánicos (ML) y arcillas (CL) con baja capacidad portante coinciden con lo reportado por Mayta Huamán (2024) en zonas aledañas de Cusco, donde también se recomendó la sustitución de subrasante por deficiencias de soporte y humedad. El uso de un coeficiente sísmico de 0.15 en el software Slide, adoptado de manera conservadora ante la falta de estudios de sitio, se alinea con las recomendaciones de Seed (1979) integradas en los manuales de diseño para garantizar desplazamientos tolerables durante un sismo de magnitud 8.25.

Los hallazgos tienen implicaciones directas en la seguridad vial y el desarrollo socioeconómico regional. La inestabilidad detectada sugiere que, sin una intervención robusta que incluya soportes activos (anclajes) en los sectores más críticos y estructuras de contención (muros de gaviones), la vía sufrirá cortes recurrentes por deslizamientos. La identificación de las canteras Sencca y Yanamayo como fuentes aptas para mejoramiento proporciona una solución técnica viable para elevar el CBR y asegurar una base granular que soporte el tráfico proyectado.

Se reconoce que una limitación importante fue la ausencia de ensayos de velocidad de ondas de corte (V_s), lo que obligó a adoptar los parámetros más conservadores de la norma E.030 para el factor de suelo y periodos de vibración. Esto podría generar una subestimación del factor de seguridad en ciertos tramos si el suelo real fuera más rígido de lo asumido. Asimismo, al ser un estudio desarrollado a nivel de factibilidad, se recomienda que para el expediente técnico definitivo se realicen estudios complementarios para la caracterización del terreno.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- *Conclusión general*

Las características geomorfológicas y geológicas del tramo comprometen la estabilidad de la vía, debido al predominio de pendientes moderadamente inclinadas a fuertemente onduladas (5° – 25°) y la presencia de sectores escarpados y muy escarpados ($>25^{\circ}$) asociados a quebradas y laderas disectadas. Asimismo, la carretera atraviesa afloramientos de las formaciones Ayabacas (Km 5+520–7+130) y Kayra (Km 7+500–10+590), además de depósitos cuaternarios lacustres, coluviales, coluvio-deluviales y residuales, los cuales presentan distintos grados de fracturamiento, meteorización y erosión. Estas características favorecen la ocurrencia de procesos de geodinámica externa, tales como erosión de laderas, cárcavas e inestabilidad de taludes, comprometiendo la estabilidad de la plataforma vial.

Asimismo, los parámetros geotécnicos evaluados en el tramo evidencian condiciones desfavorables. El 81.82% de la vía presenta una subrasante de regular a inadecuada, con valores de CBR entre 1.20% y 9.14%. Siete de las nueve secciones evaluadas presentan factores de seguridad inferiores a los mínimos requeridos, con promedios de 1.28 en condición estática y 1.05 en condición pseudoestática, evidenciando problemas generalizados de estabilidad. Sin embargo, las canteras evaluadas disponen de materiales con características adecuadas para el mejoramiento de la subrasante y la conformación de capas de subbase, constituyendo una alternativa técnica viable para las obras de mejoramiento vial.

- ***Conclusiones específicas***

- 1. Características geológicas**

Geomorfología.- Las características geomorfológicas identificadas en ciertos sectores favorecen la ocurrencia de procesos de erosión e inestabilidad de taludes, afectando la estabilidad de la plataforma vial y constituyendo un factor condicionante para el diseño y mejoramiento de la carretera, dado que la área de estudio presenta un relieve predominantemente moderadamente inclinado a fuertemente ondulado (5° – 25°), con sectores localizados de pendientes escarpadas y muy escarpadas asociados a quebradas y laderas disectadas.

Geología.- Las características geológicas presentes en el tramo condicionan la estabilidad de los taludes y favorecen la ocurrencia de procesos de geodinámica externa, afectando la estabilidad de la vía y constituyendo un factor determinante para las obras de mejoramiento vial, dado que están constituidas por afloramientos sedimentarios de las formaciones Ayabacas y Kayra, cubiertos parcialmente por depósitos cuaternarios de origen lacustre, coluvial, coluvio-deluvial y residual. Las características litológicas, estructurales y geomecánicas de estas unidades evidencian un grado variable de fracturamiento, meteorización y erosión, especialmente en la Formación Kayra y en los depósitos cuaternarios de cobertura.

Geodinámica.- la evaluación de geodinámica externa determinó 03 sectores críticos, constituyendo las zonas de mayor susceptibilidad geodinámica para la estabilidad de la vía, identificados como S.C. 8 (Km 10+150 – 10+200), S.C. 9 (Km 10+540 – 10+670) y S.C. 10 (Km 10+840 – 10+900), afectados principalmente por procesos de erosión por escorrentía superficial, socavación y formación de cárcavas, los cuales se manifiestan con mayor intensidad durante la época de lluvias. Las causas

predominantes están asociadas a la ausencia o deficiencia de sistemas de drenaje, la infiltración de agua, la escorrentía superficial concentrada y la presencia de suelos con baja resistencia a la erosión.

2. Parámetros geotécnicos

Sub-rasante.- A lo largo de la vía se tiene tanto de grava, tanto de arena, limos y gravas, correspondiendo a la clasificación AASHTO (A-1, A-4, A-6, A-7) agrupados según su granulometría y plasticidad. Se determina que el 81.82% de la vía presenta condiciones geotécnicas deficientes evidenciadas por valores de CBR comprendidos entre 1.20% y 9.14% el cual está clasificado como una subrasante deficiente. Por el contrario, el 18.18% del tramo presenta valores de CBR entre 12.30% y 38.67%, correspondientes a una subrasante regular a buena.

Evaluación de canteras.- Las canteras Sencca y Yanamayo cumplen con los requisitos técnicos para su empleo como material de mejoramiento de subrasante. Asimismo, para la conformación de sub-base granular se determinaron dos mezclas que satisfacen las especificaciones vigentes: la Mezcla N.º 1, compuesta por materiales de las canteras Yanamayo y Huandar en proporción 3:1:1, y la Mezcla N.º 2, conformada por materiales de las canteras Sencca y Huandar en la misma proporción 3:1:1.

Estabilidad de taludes.- Los resultados obtenidos para los taludes de suelo evidencian condiciones generalizadas de inestabilidad, dado que siete de las nueve secciones evaluadas no cumplen con los factores de seguridad mínimos requeridos. Los factores de seguridad calculados presentan valores promedio de 1.28 en condición estática y 1.05 en condición pseudoestática. Asimismo, las progresivas comprendidas entre 08+445 y 11+720 registran factores de seguridad inferiores a 1.0 en condición estática, lo que indica la presencia de estados de falla o condiciones críticas de inestabilidad.

Recomendaciones

1. Se recomienda implementar un sistema integral de drenaje superficial y subterráneo en los sectores identificados como críticos, priorizando las zonas clasificadas como muy sensibles, con la finalidad de controlar la escorrentía superficial, reducir la infiltración de agua y minimizar los procesos de erosión y socavación que comprometen la estabilidad de la plataforma vial. Asimismo, se recomienda ejecutar obras de protección tales como cunetas revestidas, alcantarillas, disipadores de energía, zanjas de coronación y estructuras de control de cárcavas, complementadas con medidas de protección y revegetación de taludes para disminuir la susceptibilidad a la erosión durante los períodos de lluvia intensa.
2. Se recomienda implementar medidas de estabilización en los taludes de suelo que presentan factores de seguridad inferiores a los valores normativos, priorizando sistemas de drenaje superficial y subterráneo, modificaciones geométricas del talud y, cuando sea necesario, estructuras de contención que permitan alcanzar los factores de seguridad exigidos. En los sectores críticos, especialmente entre las progresivas 08+445 a 11+720, se recomienda la instalación de muros de gravedad o gaviones complementados con modificaciones geométricas y medidas de protección superficial para garantizar condiciones adecuadas de estabilidad.
3. Se recomienda utilizar los materiales provenientes de las canteras Sencca y Yanamayo únicamente para trabajos de mejoramiento de subrasante, de igual forma se recomienda emplear las mezclas dosificadas propuestas para la conformación de sub-base granular, puesto que satisfacen los requerimientos establecidos por las especificaciones técnicas vigentes.
4. Para la construcción de la base granular, se recomienda modificar la dosificación

de las mezclas o incorporar agregados finos de mejor calidad que permitan incrementar el valor del Equivalente de Arena hasta alcanzar el mínimo exigido por la normativa vigente.

5. Se recomienda evaluar la ejecución de cortes de talud controlados, ampliación de plataforma y conformación de sobrehanchos de calzada. Estas intervenciones permitirán mejorar la distancia de visibilidad, facilitar el cruce de vehículos y aumentar las condiciones de seguridad y transitabilidad de la vía en las progresivas Km5+400 – 5+600; Km 5+800 – 5+900; Km 6+820 – 6+900; Km 7+100 – 7+240; Km 7+660 – 7+750; Km 7+800 – 7+950; Km 8+020 – 8+200; Km 9+040- 9+090; Km 9+260- 9+350; Km 9+500 – 9+670; Km 9+740 – 9+920; Km 10+560 – 10+660; Km 11+280 – 11+380; Km 11+950 – 12+040; Km 12+400 – 12+600; Km 13+570 – 13+700; Km 14+320 – 14+360, siendo estas progresivas de zonas donde se está modificando el trazo actual de la vía, con cortes de talud, cruce con quebradas.
6. Se recomienda implementar procesos de tratamiento granulométrico diferenciados para las canteras Yanamayo y Huandar, con la finalidad de maximizar el volumen aprovechable y asegurar el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas para capas de subbase granular, base granular.
7. Considerando que la presente investigación ha sido desarrollada en el marco de los estudios de factibilidad, se recomienda que, durante la etapa de estudio definitivo, se realicen estudios hidrológicos y de evaluación de peligros geológicos, a fin de identificar las condiciones que puedan afectar la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial. Asimismo, se recomienda complementar las investigaciones geotécnicas mediante perforaciones diamantinas,

exploraciones geofísicas orientadas a la caracterización de taludes y ensayos de campo y laboratorio especializados que permitan definir con mayor precisión las propiedades del terreno y de los materiales

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2021). *Standard Method of Test for Particle-Size Analysis of Soils*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Babín Vich, R., & Gómez Ortiz, D. (2010). *Geología estructural y tectónica*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Barahona, A., Ovando, C., & Araya, R. (2021). Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6.
- Beltran Sequeiros, N. E., & Huamani Puellas, S. (2022). *Mejoramiento de la transitabilidad vehicular de la carretera CU-1185 tramo Chancadora - Cruzpata del distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, Cusco*. Cusco .
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Bishop, A. W. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*, 7–17.
- Braja M., D. (2013). *Principles of Geotechnical Engineering*. Stamford, Connecticut: Cengage Learning.
- Camargo Puerto, J. A. (2004). *Manual de geología estructural: Guía para la interpretación y elaboración de mapas geológicos*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Carlotto Caillaux, V., Cárdenas Roque, J., & Carlier, G. (2011). *Geología del cuadrángulo del Cusco*. Lima: INGEMMET.
- Dávila Burga, J. (2006). *Diccionario geológico*. Lima: INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico).
- Duncan, M., Wright, S., & Brandon, T. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Fossen, H. (2016). *Structural Geology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gilsanz, J. d. (1996). *Geomorfología: Principios, métodos y aplicaciones*. Madrid, España: Rueda.
- Gobierno Regional del Cusco (SGEP). (2024). *Expediente técnico: “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en la CU – 145 en el tramo:*

Trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) – Piuray – Quispihuara - Sencca".
Cusco.

- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores.
- Hoek, E., Carter, T. G., & Diederichs, M. S. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart. *47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium* (pág. 4). San Francisco, California: American Rock Mechanics Association (ARMA).
- INGEMMET. (2020). *Inspección geológica-geodinámica del centro poblado de Rancho*. Ayacucho: INGEMMET.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1985). *Manual de Ingeniería de Taludes*. Madrid: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Mayta Huaman, E. A., & Paredes Rodríguez, C. G. (2024). *Mejoramiento del servicio de transitabilidad vial interurbana en la vía nacional PE-28J y vía vecinal 1156, tramo Sencca – Quispihuara – Huila Huila*. Cusco.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2012). *Manual de carreteras. Suelos geología, geotecnia y pavimentos. Sección geología y geotecnia*. Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras. Suelos geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico DG-2018* (DG-2018 ed.). Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2026). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2012). *Norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes (Decreto Supremo N° 017-2012-VIVIENDA)*. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotécnica y pavimentos sección suelos y pavimentos*. Lima: Servicios gráficos squadrito EIRL.
- Ocrospoma Callupe, F. N., & Rocha Sandoval, C. A. (2024). Capacidad portante de los suelos para establecer la zonificación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2702–2720.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). *Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente*. Lima: Diario Oficial El Peruano.
- Rivera Mantilla, H. (2005). *Geología general*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rivera, J. M. (1991). *Fenómenos geodinámicos*. Lima: Tecnología intermedia.

- Romana, M. (1985). New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes. *International Symposium on the Role of Rock Mechanics*, (págs. 49–53). Zacatecas.
- Sala, M. (1984). Geomorfología actual: Guía conceptual, temática y bibliográfica. *Revista de Geografía*, 209–248.
- SENAMHI. (2021). *Climas del Perú: Mapa de clasificación climática nacional*. Lima: RED ACTIVA SOLUCIONES GRAFICAS S.A.C.
- Turner, A. K., & Schuster, R. L. (1996). *Landslides Investigation and mitigation* . Washington D. C. : National Academy of Sciences.
- Wyllie, D., & Mah, C. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and mining (4th ed.)*. Nueva York: Spon Press.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables y matriz de consistencia

Anexo 2. Mapas

MAPA N°01. Mapa de ubicación

MAPA N°02. Mapa topográfico

MAPA N°03. Mapa de pendientes

MAPA N°4.1. Mapa de pendientes local

MAPA N°4.2. Mapa de pendientes local

MAPA N°4.3. Mapa de pendientes local

MAPA N°4.4. Mapa de pendientes local

MAPA N°05. Mapa geomorfológico regional

MAPA N°6.1. Mapa geomorfológico local

MAPA N°6.2. Mapa geomorfológico local

MAPA N°6.3. Mapa geomorfológico local

MAPA N°6.4. Mapa geomorfológico local

MAPA N°07. Mapa geológico regional

MAPA N°08. Mapa clave

MAPA N°9.1. Mapa geológico local

MAPA N°9.2. Mapa geológico local

MAPA N°9.3. Mapa geológico local

MAPA N°9.4. Mapa geológico local

MAPA N°10. Mapa geoestructural regional

MAPA N°11. Mapa geodinámico

MAPA N°12. Mapa geotécnico

MAPA N°13.1. Mapa geotécnico local

MAPA N°13.2. Mapa geotécnico local

MAPA N°13.3. Mapa geotécnico local

MAPA N°13.4. Mapa geotécnico local

MAPA N°14. Plano de canteras

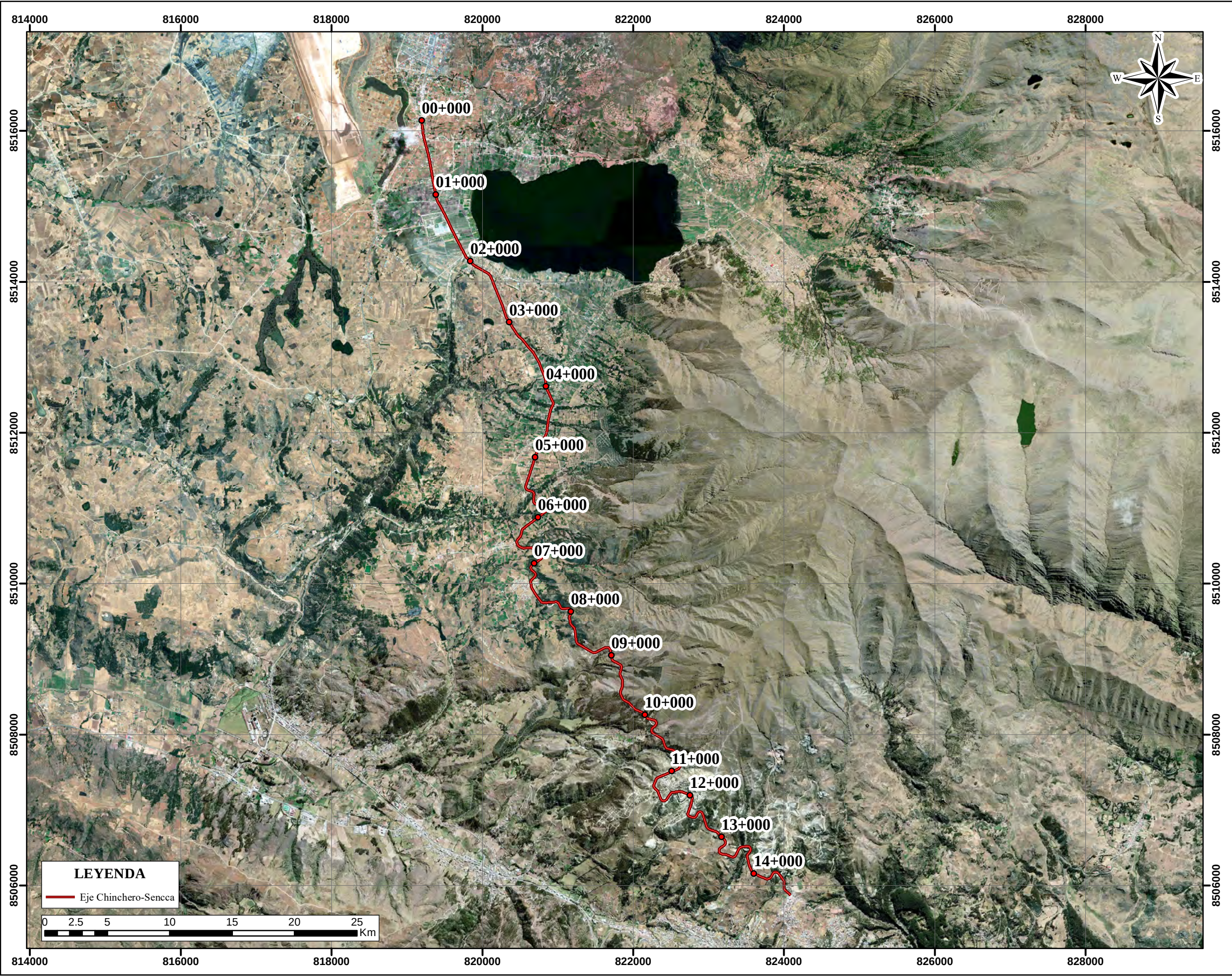
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES O CATEGORÍAS	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Parámetros geológicos	Bernal (1992), menciona que las ramas básicas de la geología , especialmente la geomorfología , la petrología , la tectónica , la estratigrafía y la geología histórica en combinación con ciencias afines como la geofísica , la fotointerpretación , la climatología , la hidrología y la geotécnica proporcionan informaciones tales sobre la corteza terrestre, que debidamente aprovechadas constituyen una fuente de información la cual suministra luces de gran valor a la investigación conjunta (p. 18).	Los parámetros geológicos pueden evaluarse por medio del análisis de la geomorfología , geología , geología estructural , geodinámica e hidrología . Para esto será necesario ir a campo y tomar datos, fotografías, hacer el procesamiento correspondiente e interpretación necesaria.	Geomorfología	Geomorfología regional	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
				Geomorfología local	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
			Geología	Geología regional	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
				Geología local	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
				Geología estructural	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
			Geodinámica	Geodinámica interna	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
				Geodinámica externa	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Arcgis</i>
Parámetros geotécnicos	Braja Das (2013) menciona que la ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que enfoca su estudio en las propiedades mecánicas e hidráulicas de suelos y rocas, tanto en superficie como en el subsuelo, incluyendo la aplicación de los principios de la mecánica de suelos y mecánica de rocas en el diseño de los cimientos, estructuras de contención y las estructuras de tierra (p.1).	Los parámetros geotécnicos pueden evaluarse por medio del análisis de la estabilidad de taludes y la caracterización físico - mecánica. Para esto será necesario recopilar datos de ensayos de laboratorio y procesamiento correspondiente.	Caracterización físico - mecánica	Granulometría	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayo de granulometría</i>
				Límites de consistencia	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayos de límites de consistencia</i>
					<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayo CBR</i>
					<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayo CBR</i>
				Capacidad portante	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayo CBR</i>
					<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio</i> <i>Recursos: Ensayo CBR</i>
			Estabilidad de taludes	Factor de seguridad	<i>Técnica: Observación</i> <i>Instrumentos: Toma de datos en campo</i> <i>Recursos: Software Slide</i>

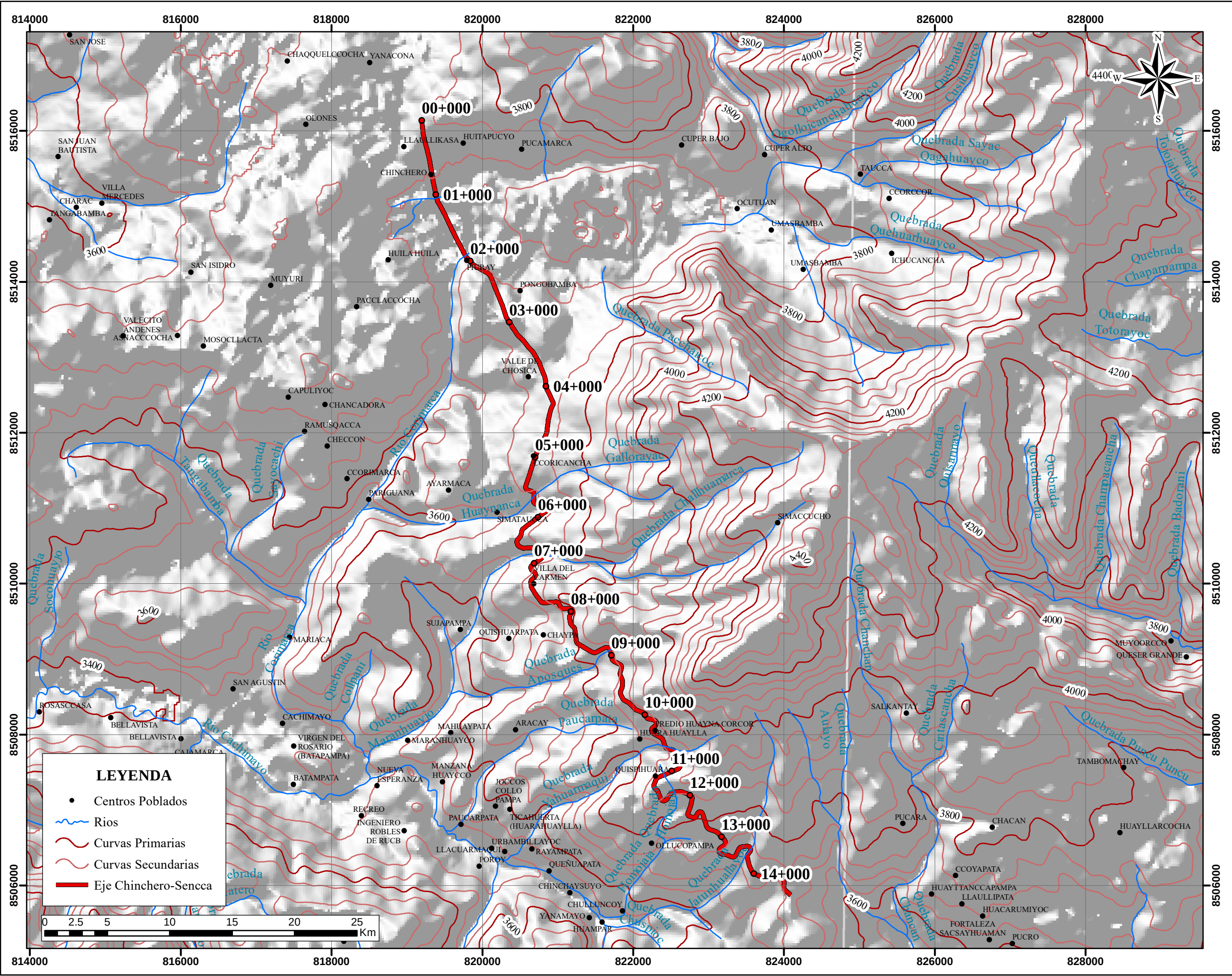
MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES O CATEGORÍAS	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA	
General	General	General	Características geológicas	Geomorfología	Geomorfología regional	Técnica: Observación	Tipo de Investigación:	
¿Cuáles son las características geológicas y parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP? PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 -EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco?	Determinar las características geológicas y los parámetros geotécnicos que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 -EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.	Las características geológicas y parámetros geotécnicos comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chinchero) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 -EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chinchero de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.				Geomorfología	Instrumentos: Toma de datos en campo	BÁSICA APLICADA
							Recursos: Software Arcgis	
					Geomorfología local		Técnica: Observación	
						Instrumentos: Toma de datos en campo		
						Recursos: Software Arcgis	DESCRIPTIVO	
				Geología	Geología regional	Técnica: Observación	Diseño de Investigación:	
						Instrumentos: Toma de datos en campo		
						Recursos: Software Arcgis	NO EXPERIMENTAL, TRANSVERSAL	
					Geología local	Técnica: Observación	Población:	
						Instrumentos: Toma de datos en campo		
						Recursos: Software Arcgis	Todos los tramos de la vía interurbana CU-145 ubicados entre el EMP. CU-145 y el EMP. PE-28 F.	
					Geología estructural	Técnica: Observación	Muestra:	
						Instrumentos: Toma de datos en campo		
						Recursos: Software Arcgis	Un subconjunto de tramos seleccionados de manera estratégica para representar la diversidad de condiciones geológicas, geotécnicas y problemas asociados a la transitabilidad.	
				Geodinámica	Geodinámica interna	Técnica: Observación		
						Instrumentos: Toma de datos en campo		
		Recursos: Software Arcgis						
		Técnica: Observación						

					Geodinámica externa	Instrumentos: Toma de datos en campo	
						Recursos: Software Arcgis	
Específicos	Específicos	Específicos	Parámetros geotécnicos	Caracterización físico - mecánica	Granulometría	Técnica: Observación	Muestreo:
¿Cuáles son las características geológicas que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP? PE-28 F (Chincheró) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chincheró de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco?.	Determinar las características geológicas que comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chincheró) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chincheró de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.	Las características geológicas comprometen la transitabilidad vial interurbana en la CU-145, en el tramo: trayectoria EMP. PE-28 F (Chincheró) - Piuray - Quispihuara - Sencca, R81356 en el tramo: EMP: CU - 145 - EMP. PE-28 F distritos de Cusco, Chincheró de las provincias de Cusco, Urubamba del departamento de Cusco.				Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio	El muestreo debe ser estratificado y sistemático para garantizar la representatividad de la población en función de los siguientes criterios: - Estratos geológicos y geotécnicos presentes a lo largo de la vía. - Zonas propensos a fenómenos de inestabilidad (erosión, deslizamientos, etc.)
						Recursos: Ensayo de granulometría	
					Límites de consistencia	Técnica: Observación	
						Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio	
						Recursos: Ensayos de límites de consistencia	
					Capacidad portante	Técnica: Observación	
						Instrumentos: Fichas de campo, guías de laboratorio	
						Recursos: Ensayo CBR	
					Estabilidad de taludes	Técnica: Observación	
						Instrumentos: Toma de datos en campo	
						Recursos: Software Slide	



	"ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA EN LA CU – 145 EN EL TRAMO: TRAYECTORIA EMP. PE-28 F (CHINCHERO) – PIURAY – QUISPIHUARA - SENCCA, R81356 EN EL TRAMO: EMP. CU – 145 – EMP. PE-28 F DISTRITOS DE CUSCO, CHINCHERO DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO, URUBAMBA DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO"		UBICACIÓN		SISTEMA DE COORDENADAS		MAPA DE UBICACIÓN	ELABORADO: HUAMAN QUISPE FERNANDO HUAMAN CARPIO KELLY MELISSA		ESCALA: 1:50,000	MAPA N° 01
			DISTRITO: Chinchero, Cachimayo, Poroy		PROYECCION: UTM			FUENTE: INGEMMET		ESCALA DE IMPRESIÓN: A-3	
			PROVINCIA: Urubamba, Anta, Cusco		DATUM HORIZONTAL: WGS84					FECHA: AGOSTO 2025	
			REGION: CUSCO		HUSO Y ZONA: 18L Sur						





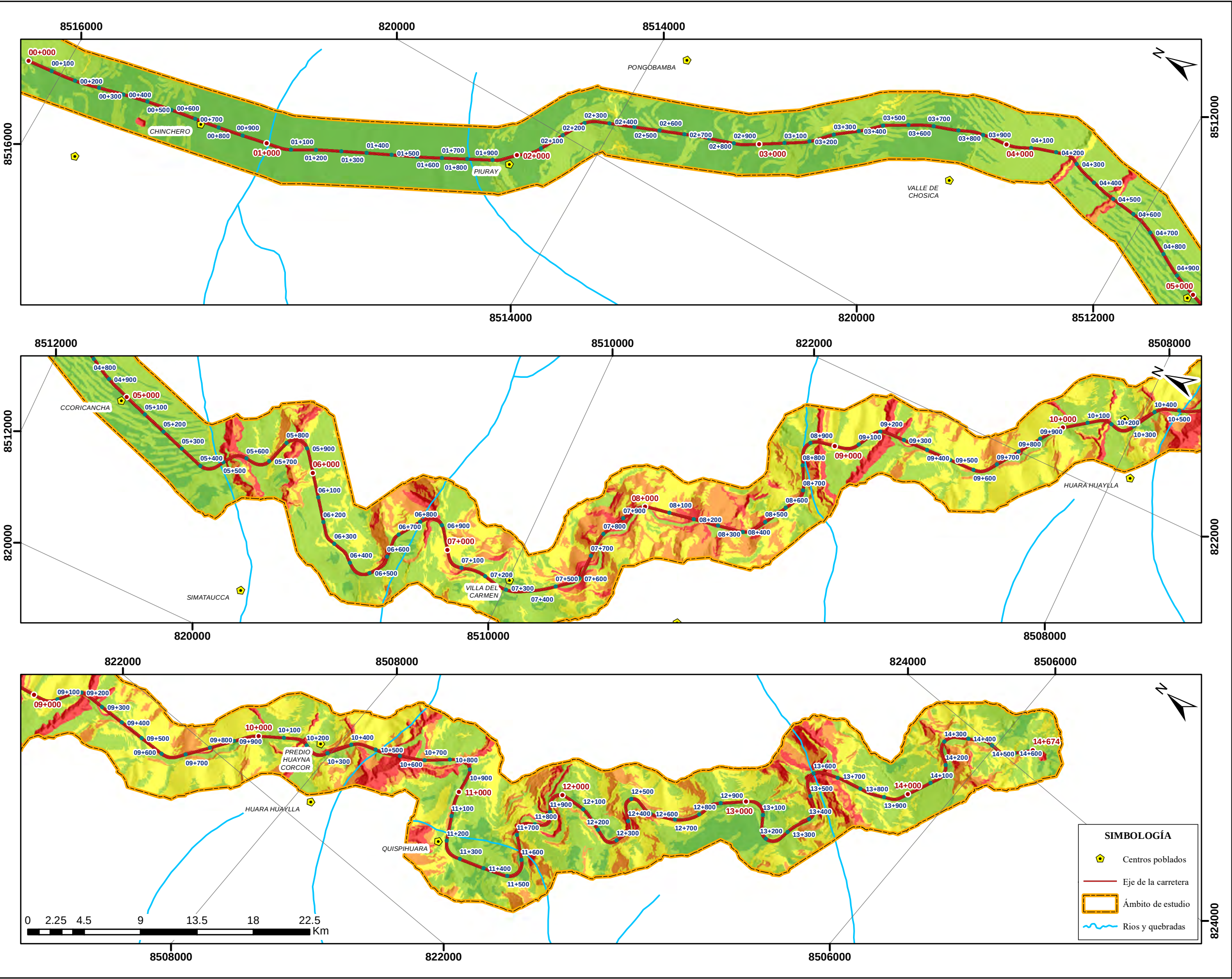
Ubicación regional

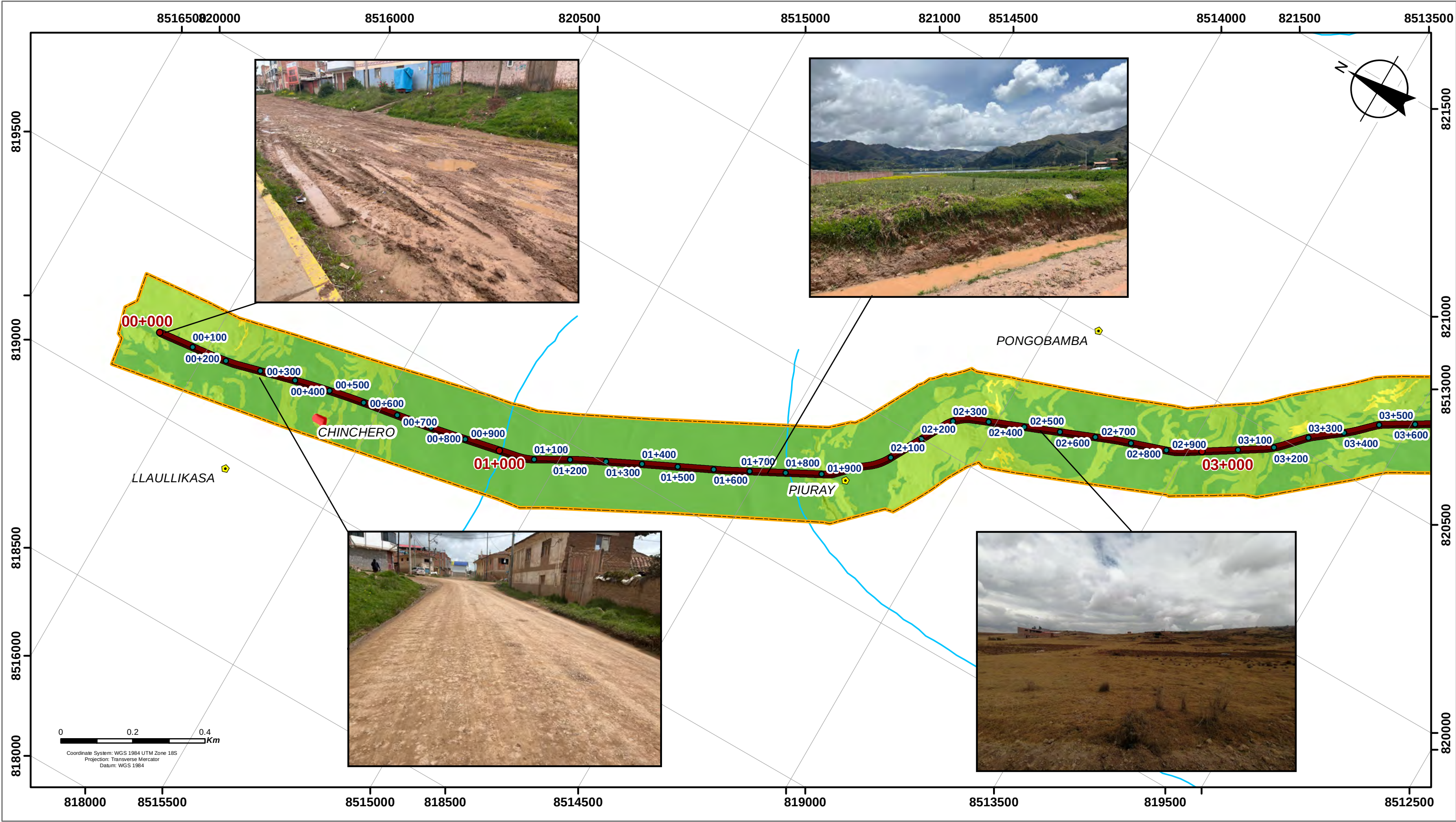


Ubicación distrital

PENDIENTES

Rango





PENDIENTES

De 5° a 15°

De 25° a 35°

Rango

De 15° a 25°

Mayor a 35°

Menor a 5°

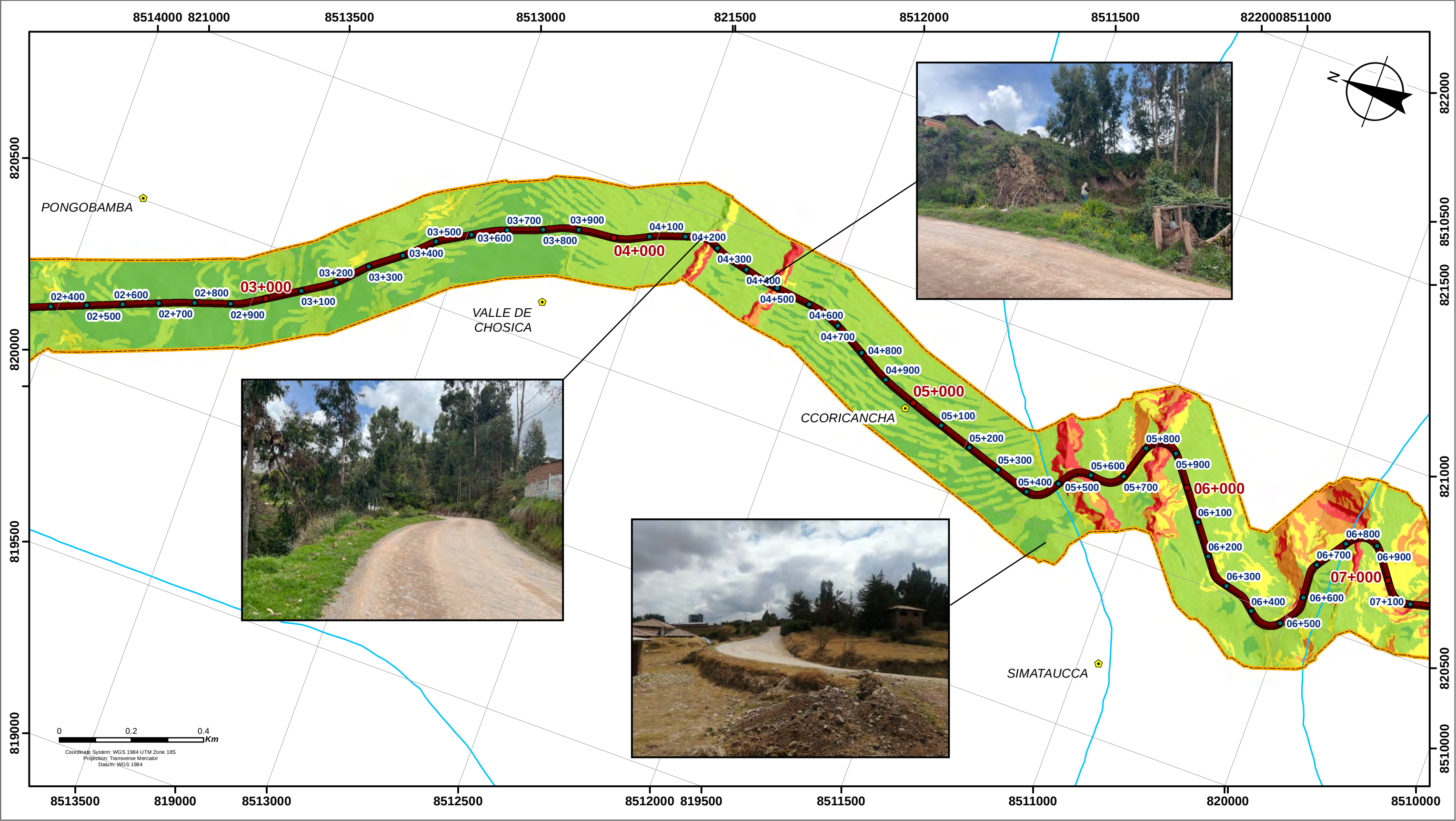
SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Ámbito de estudio

Eje de la carretera

Rios y quebradas



PENDIENTES

De 5° a 15°

De 25° a 35°

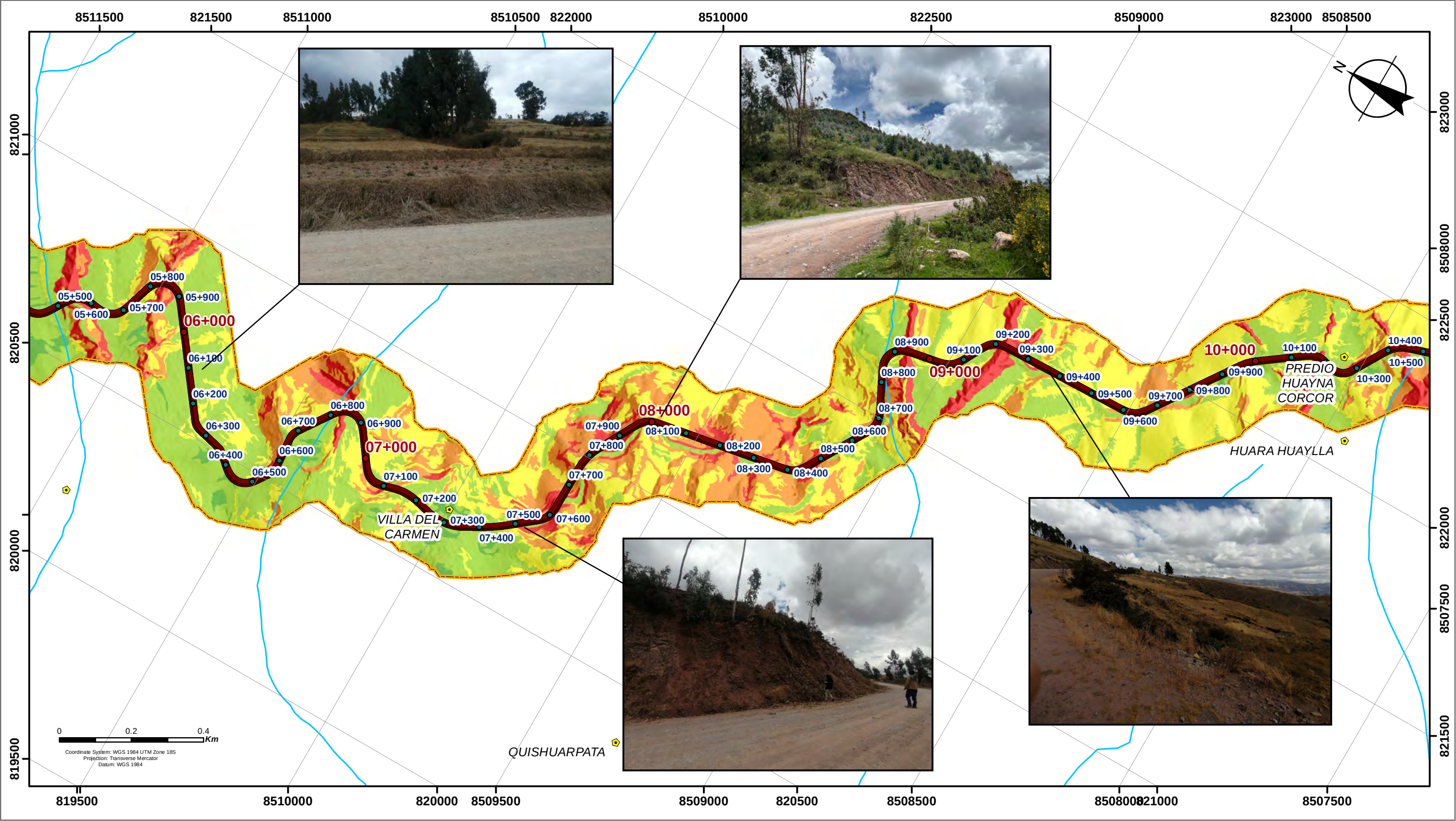
De 15° a 25°

Mayor a 35°Menor a 5°

SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Ámbito de estudioEje de la carreteraRios y quebradas



PENDIENTES

De 5° a 15°

De 25° a 35°

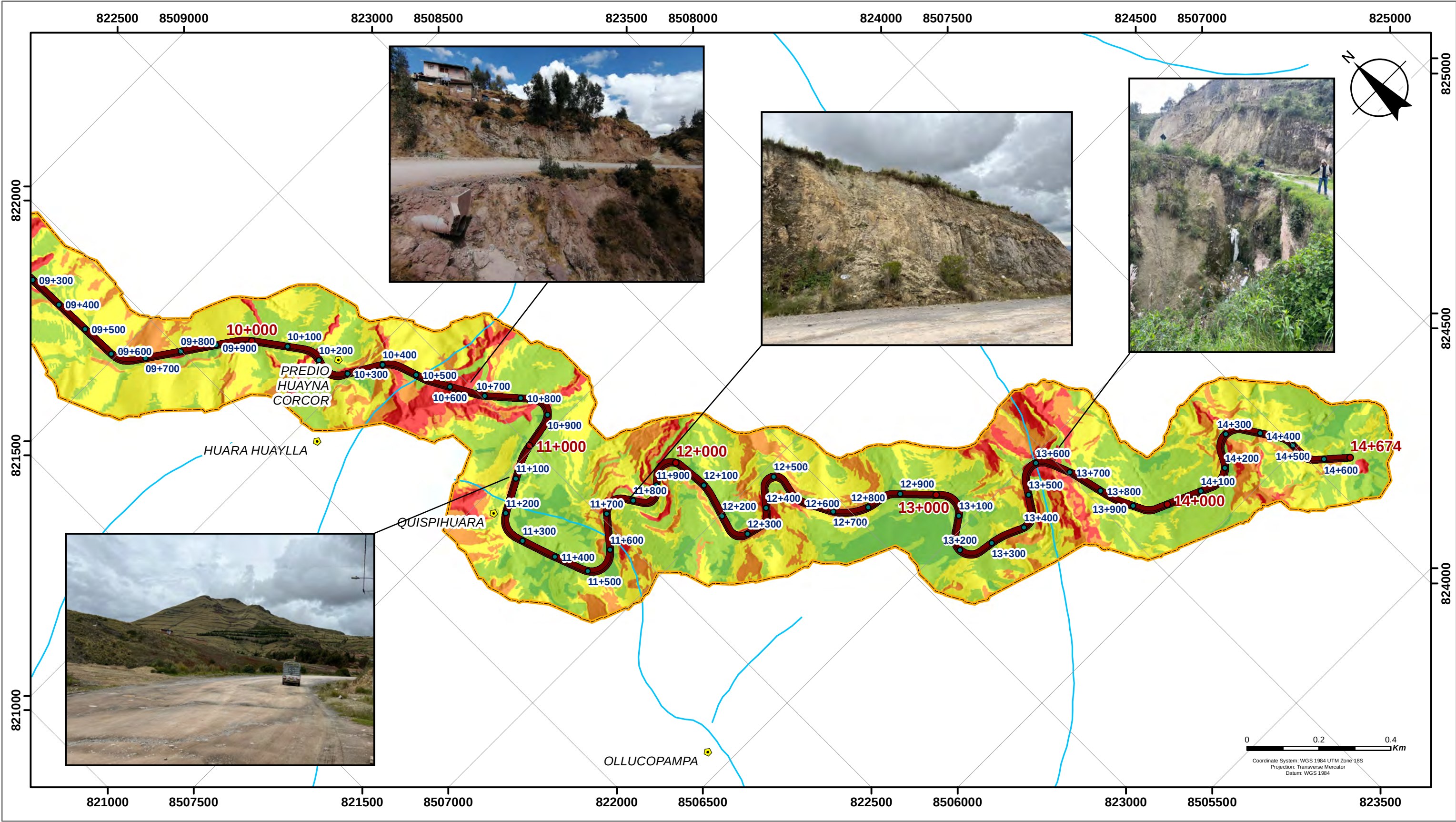
De 15° a 25°

Mayor a 35°Menor a 5°

SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Ámbito de estudioEje de la carreteraRios y quebradas



PENDIENTES

De 5° a 15°

De 25° a 35°

Rango

Menor a 5°

De 15° a 25°

Mayor a 35°

SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Ámbito de estudio

Eje de la carretera

Rios y quebradas



SIMBOLOGIA

- Centros Poblados
- Curvas de nivel
- Fallas geológicas
- Eje de carretera
- Lagunas
- Ríos y quebradas



LEYENDA

Unidades geomorfológicas

- AP-s Altiplanicie sedimentaria
- Río Cauce del río
- RC-ri Colina en roca intrusiva
- RC-rs Colina en roca sedimentaria
- RCL-rs Colina y lomada en roca sedimentaria
- RM-rs Montaña en roca sedimentaria
- RME-rs Montaña estructural en roca sedimentaria
- VII-gl Valle glaciar
- VII-gl/l Valle glaciar con laguna
- V-al Vertiente o piedemonte aluvial
- V-cd Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984



"ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA EN LA CU - 145 EN EL TRAMO: TRAYECTORIA EMP. PE-28 F (CHINCHERO) - PIURA Y - QUISPILUARA - SENCCA, R81356 EN EL TRAMO: EMP. CU - 145 - EMP. PE-28 F DISTRITOS DE CUSCO, CHINCHERO DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO, URUBAMBA DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO"



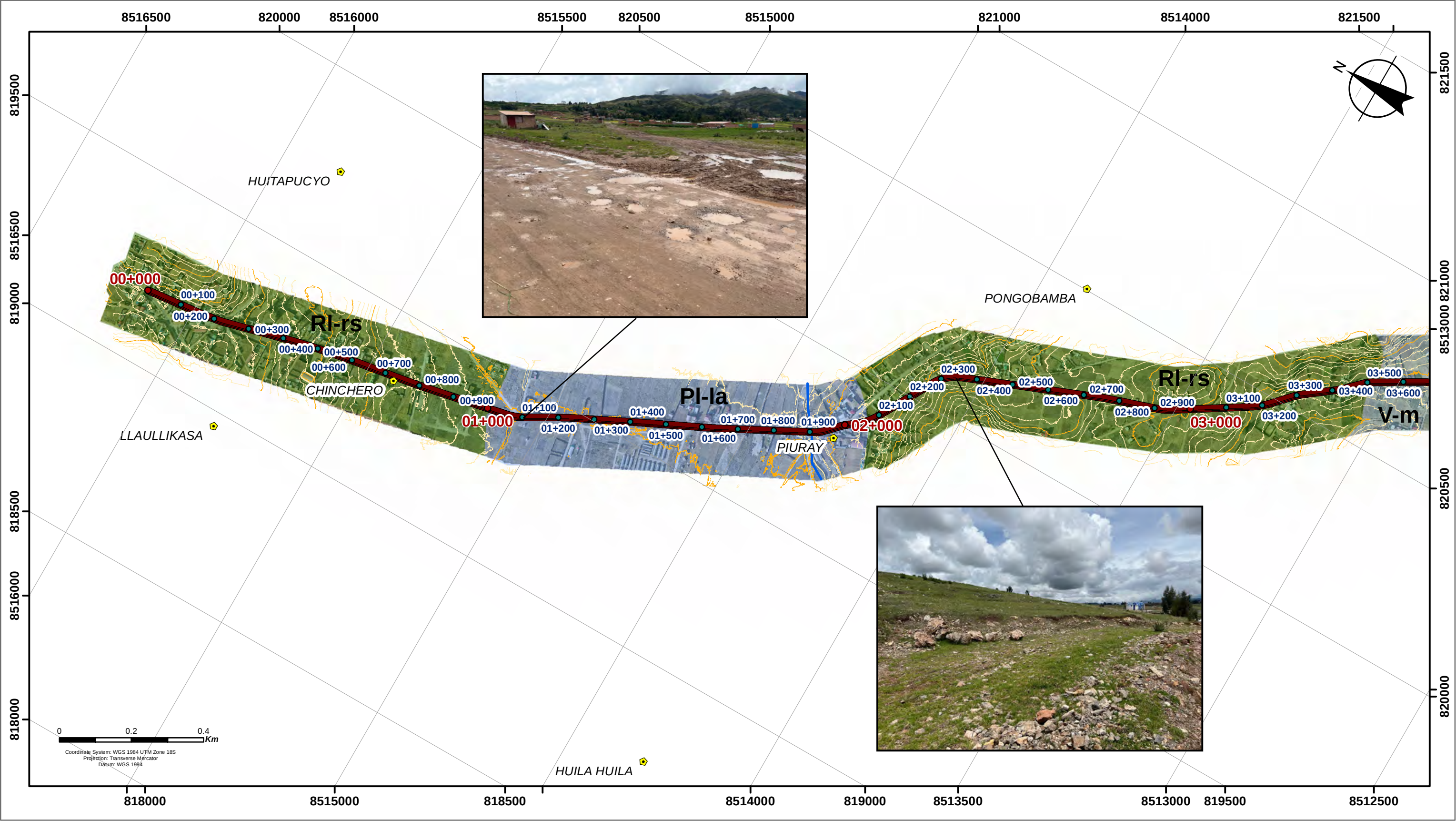
UBICACIÓN		SISTEMA DE COORDENADAS	
DISTRITO:	Chinchero, Cachimayo, Poroy	PROYECCION:	UTM
PROVINCIA:	Urubamba, Anta, Cusco	DATUM HORIZONTAL:	WGS84
REGION:	CUSCO	HUSO Y ZONA:	18L Sur

MAPA
GEOMORFOLÓGICO
REGIONAL

ELABORADO: HUAMAN QUISPE FERNANDO
HUAMAN CARPIO KELLY MELISSA
FUENTE: INGENMET

ESCALA: 1:50,000
ESCALA DE IMPRESIÓN: A-3
FECHA: AGOSTO 2025

MAPA N°
05



LEYENDA

Pl-la

Llanura lacustre

RL

Lomada fuertemente disectada

V-m

Vertiente montañosa

RI-rs

Lomada en roca sedimentaria

Q

Quebrada

SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Eje de la carretera

Rios

Curvas primarias

Curvas secundarias



LEYENDA

Pl-la

Llanura lacustre

RL

Lomada fuertemente disectada

V-m

Vertiente montañosa

RI-rs

Lomada en roca sedimentaria

Q

Quebrada

SIMBOLOGÍA

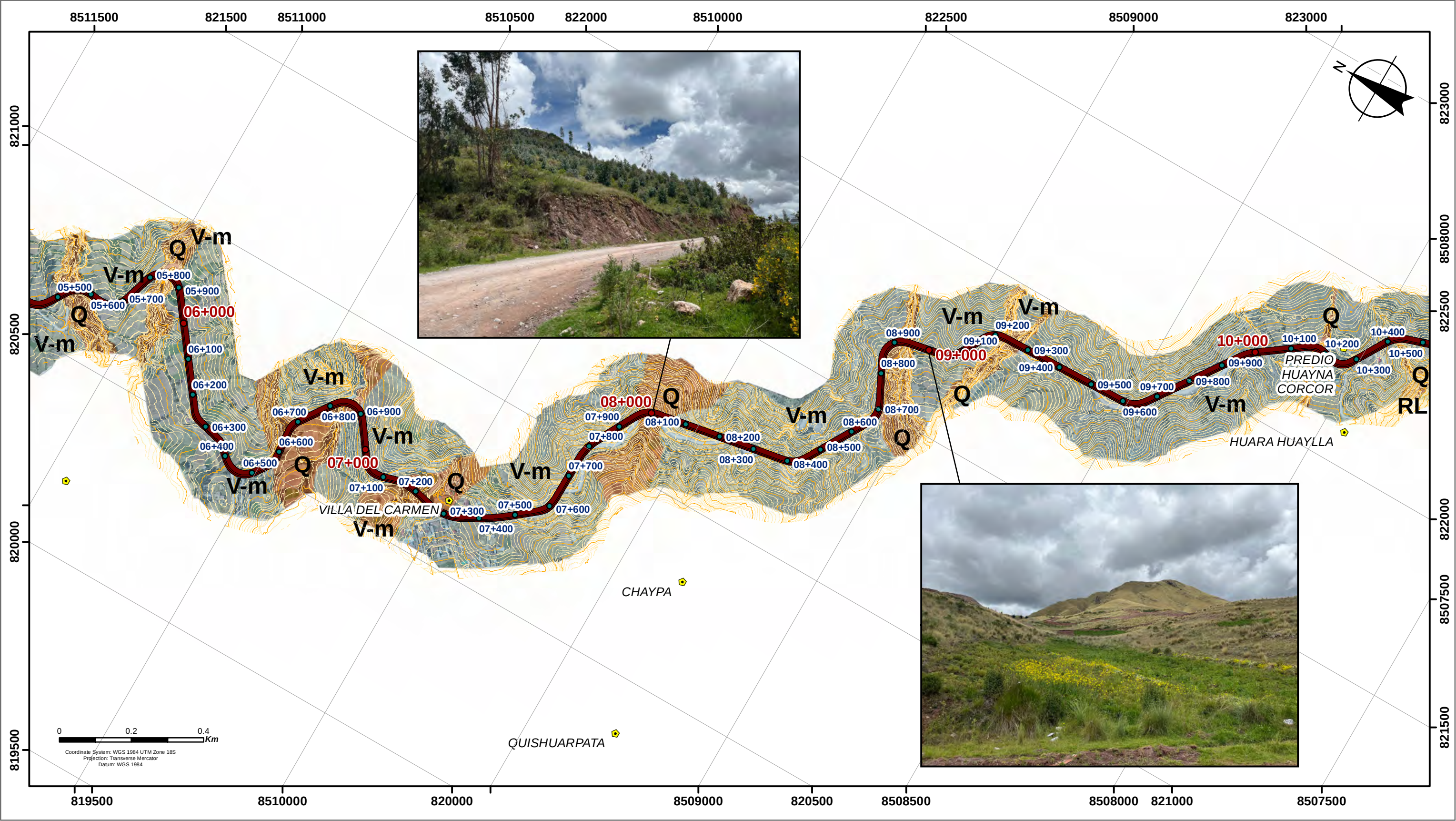
Centros poblados

Eje de la carretera

Rios

Curvas primarias

Curvas secundarias



LEYENDA

Pl-la

Llanura lacustre

RL

Lomada fuertemente disectada

V-m

Vertiente montañosa

RL-rs

Lomada en roca sedimentaria

Q

Quebrada

SIMBOLOGÍA

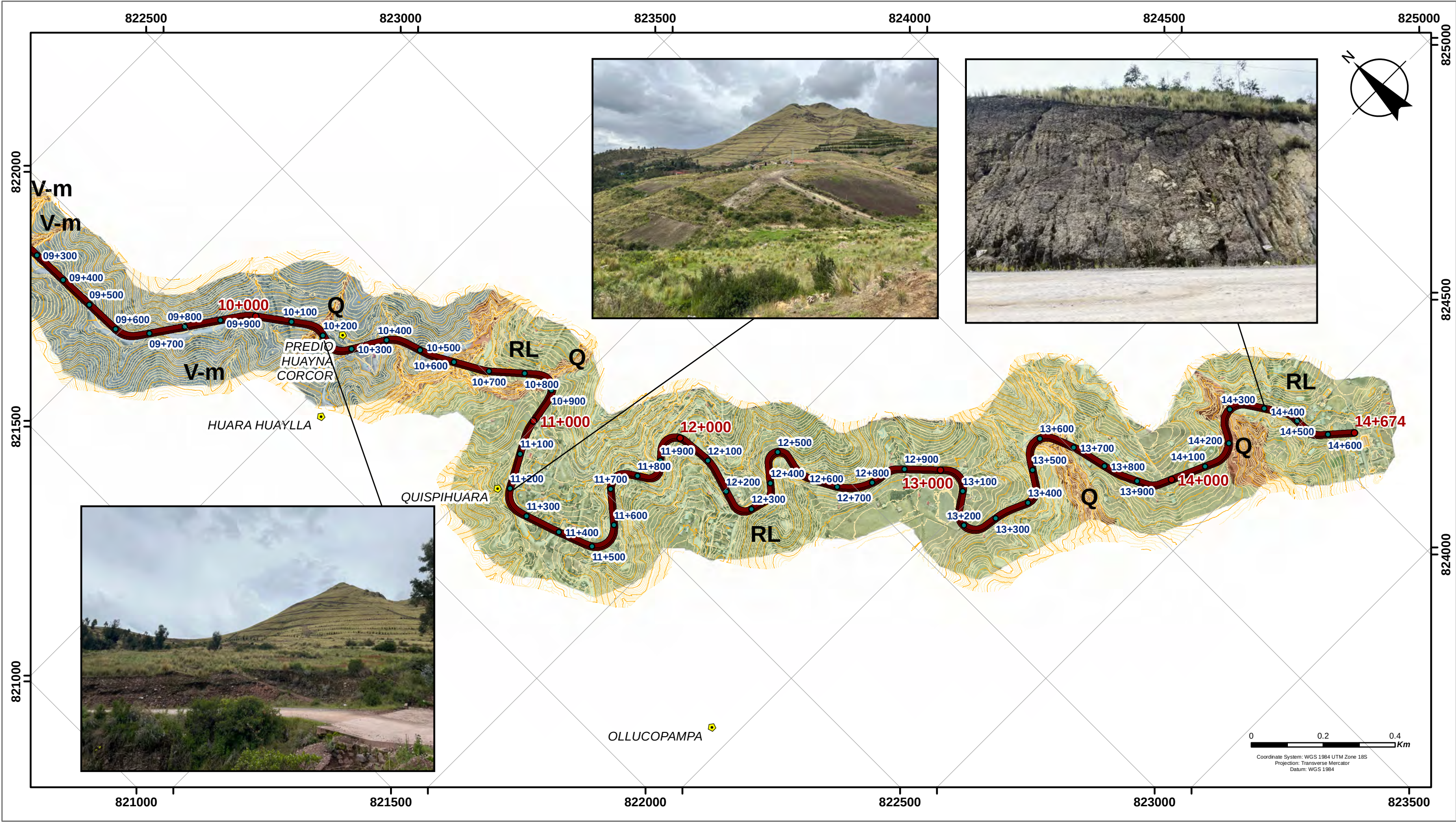
Centros poblados

Eje de la carretera

Rios

Curvas primarias

Curvas secundarias



LEYENDA

Pl-la

Llanura lacustre

RL

Lomada fuertemente disectada

V-m

Vertiente montañosa

RL-rs

Lomada en roca sedimentaria

Q

Quebrada

SIMBOLOGÍA

Centros poblados

Eje de la carretera

Rios

Curvas primarias

Curvas secundarias



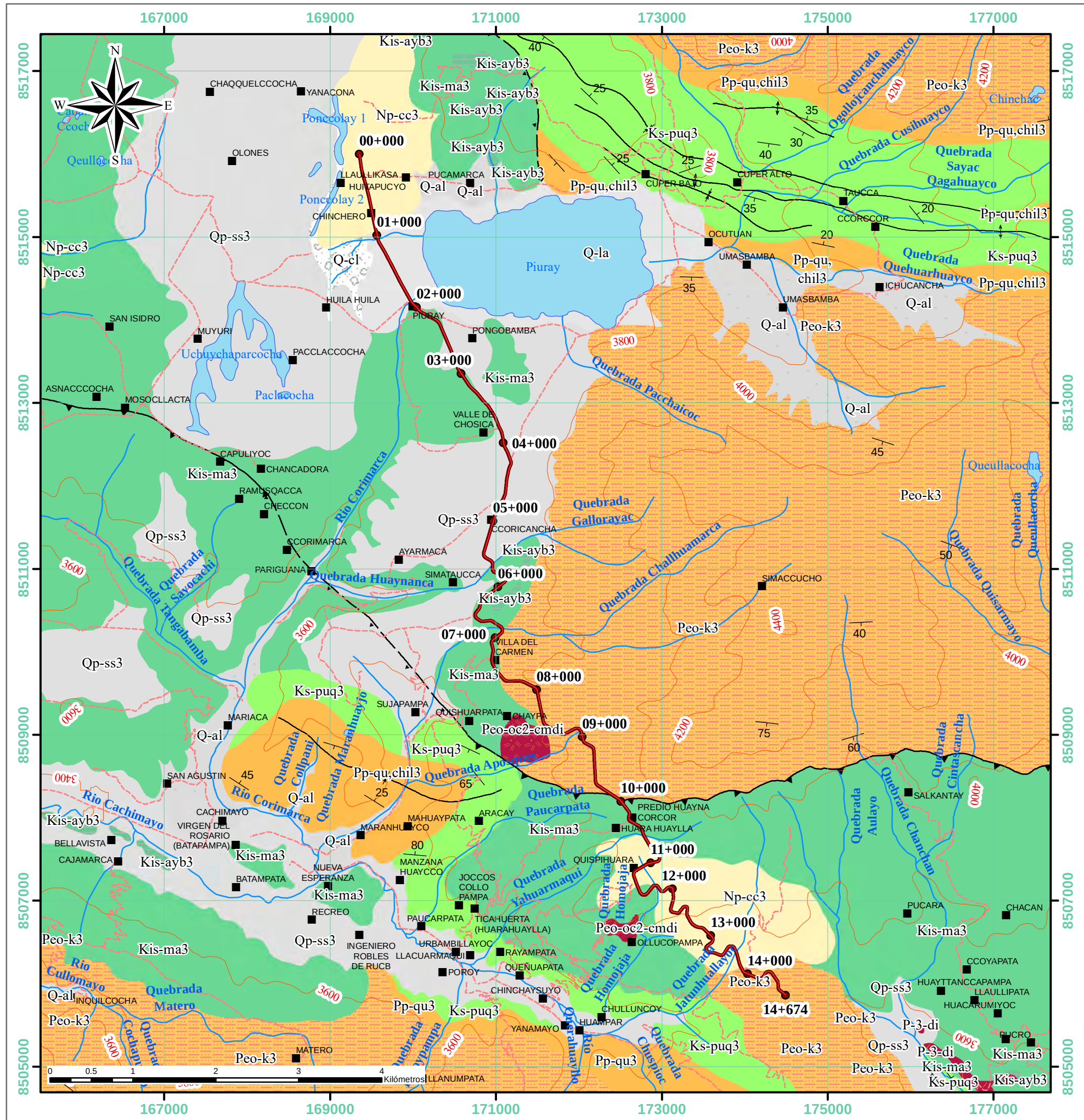
Escala 1:20,000
0 0.5 1 2 3 Km
DATUM: UTM WGS 84, Zona 18 Sur

SIMBOLOGÍA

- Carretera Chinchero - Sencca
- Centros Poblados
- Red Vial Vecinal
- Curvas de nivel
- Laguna
- Rios y quebradas

SIMBOLOS GEOLÓGICOS

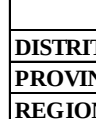
- Falla normal
- Falla inferida
- Lineamiento
- Eje de anticlinal
- Rumbo y buzamiento de estratos



CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA	
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	
CENOZOICA	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	Dep. Aluvial	Q-al
			Dep. Coluvial	Q-cl
			Dep. Lacustrino	Q-la
	PALEOGENO	PLIOCENO	Formación San Sebastián	Qp-ss3
			Formación Chincheros	Np-cc3
		EOCENO	Formación Kayra	Peo-k3
			Unidad Ocobamba	Peo-oc2-emdi
			Formación Quilque - Chilca	Pp-qu, chil3
		PALEOCENO	Formación Quilque	Pp-qu3
CRETACICO	SUPERIOR	Grupo Yuncaypata	Formación Puquín	Ks-puq3
			Formación Ayabacas	Kis-ayb3
			Formación Maras	Kis-ma3



"ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VIAL INTERURBANA EN LA CU - 145 EN EL TRAMO: TRAYECTORIA EMP. PE-28 F (CHINCHERO) - PIURAY - QUISPIHUARA - SENCCA, R81356 EN EL TRAMO: EMP. CU - 145 - EMP. PE-28 F DISTRITOS DE CUSCO, CHINCHERO DE LAS PROVINCIAS DE CUSCO, URUBAMBA DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO"



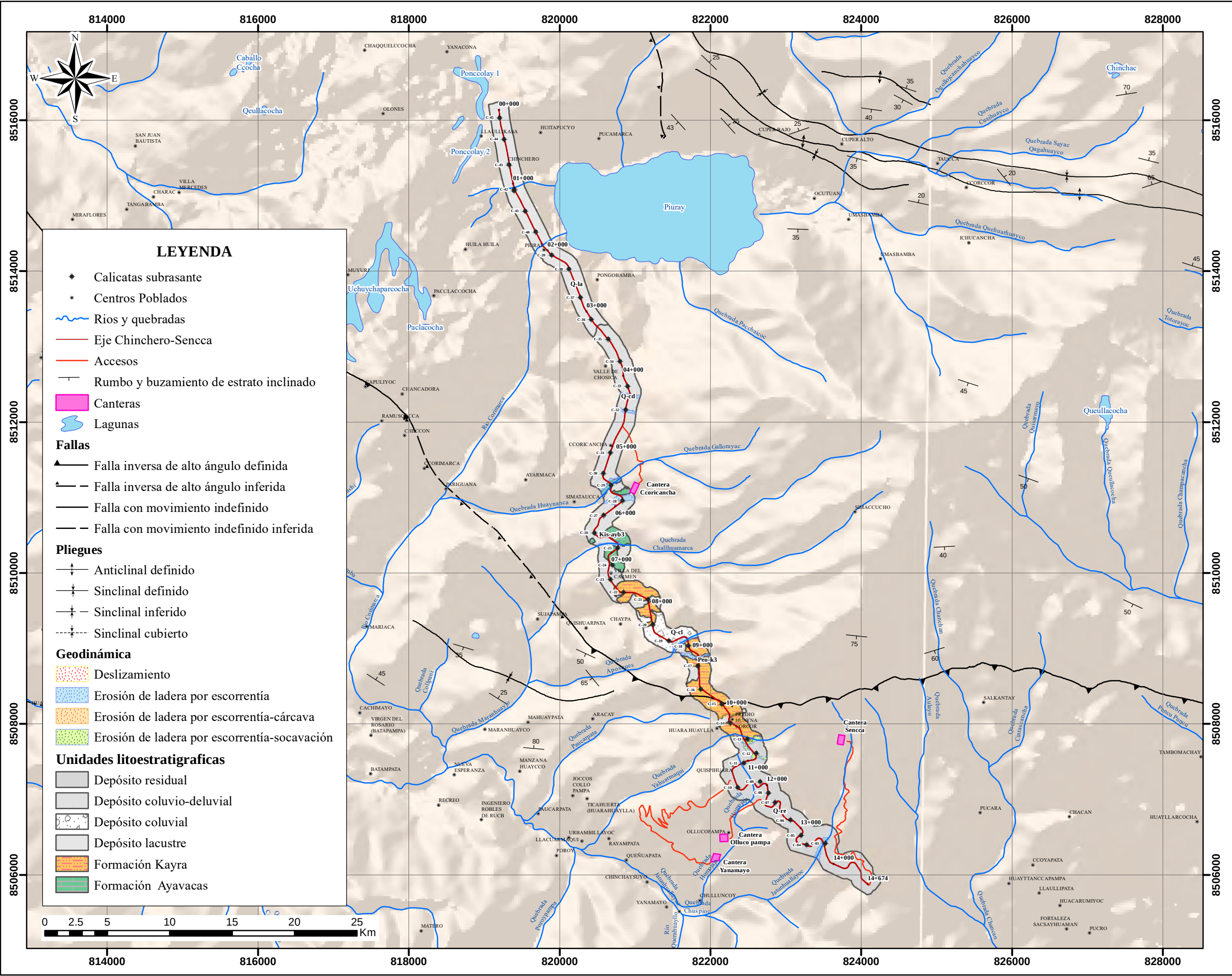
UBICACIÓN		SISTEMA DE COORDENADAS	
DISTRITO:	Chinchero, Cachimayo, Poroy	PROYECCION:	UTM
PROVINCIA:	Urubamba, Anta, Cusco	DATUM HORIZONTAL:	WGS84
REGION:	CUSCO	HUSO Y ZONA:	18L Sur

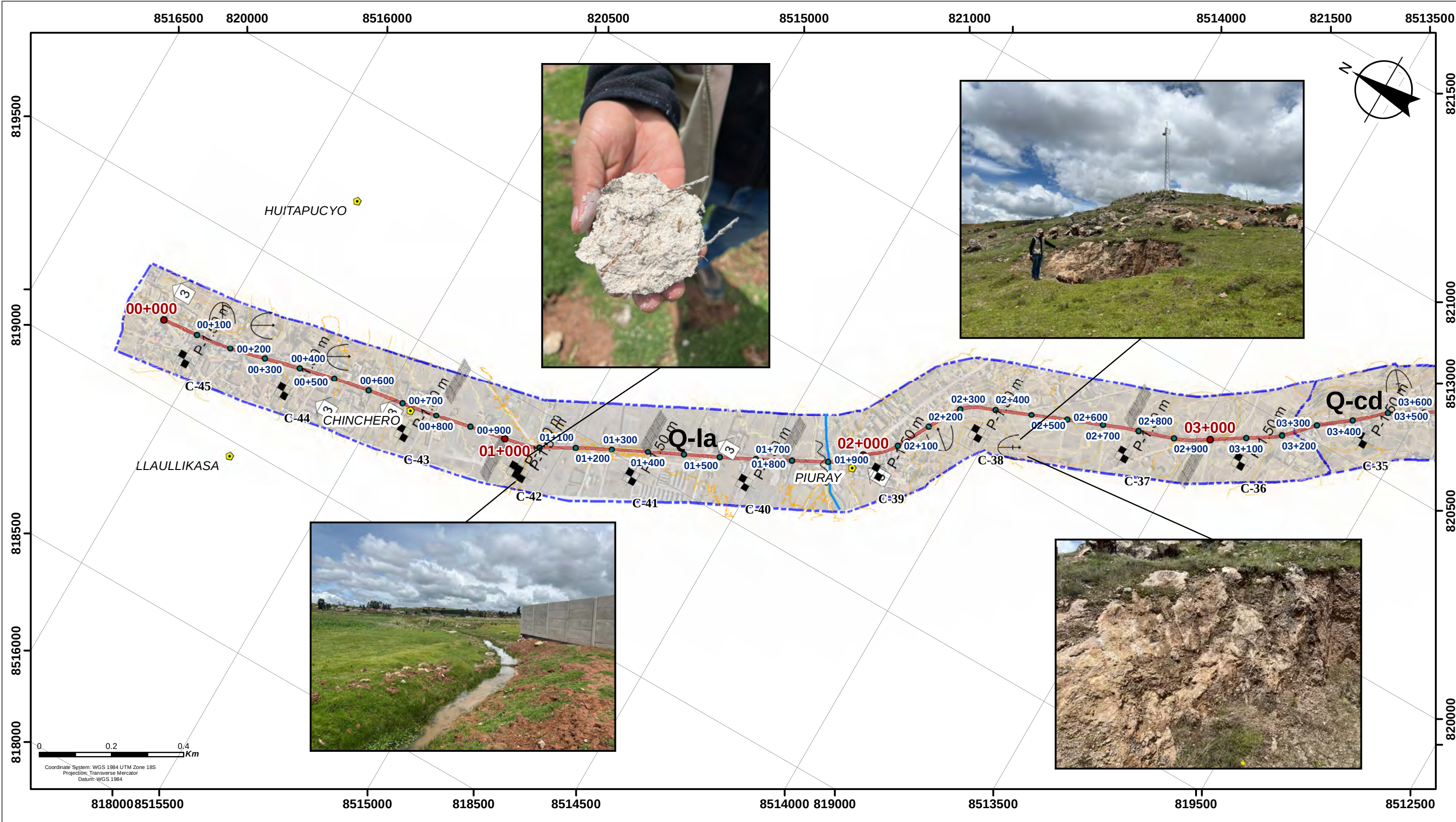
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL

ELABORADO: HUAMAN QUISPE FERNANDO
HUAMAN CARPIO KELLY MELISSA
FUENTE: INGEMMET

ESCALA: 1:50,000
ESCALA DE IMPRESIÓN: A-3
FECHA: AGOSTO 2025

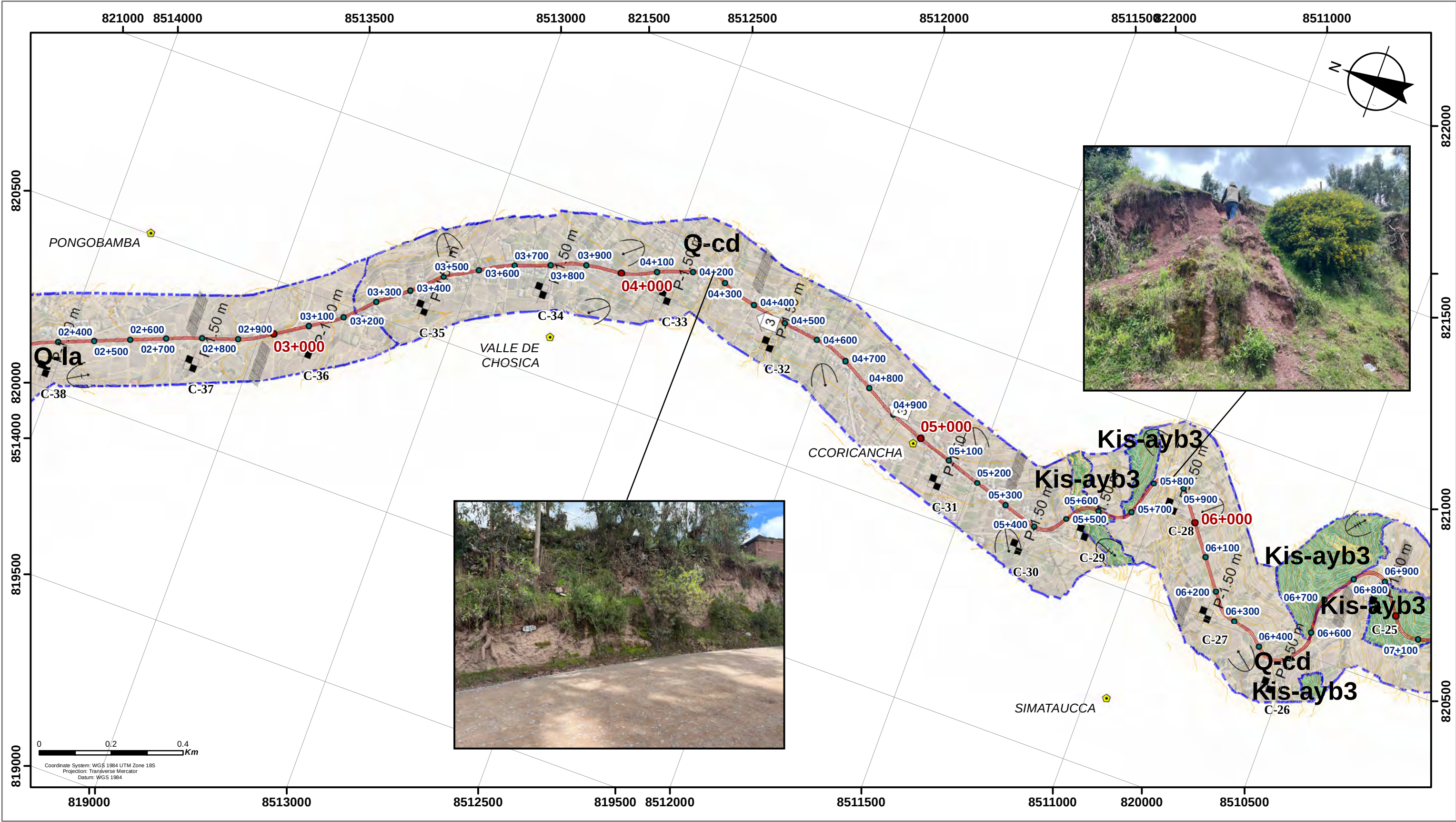
MAPA N°
07





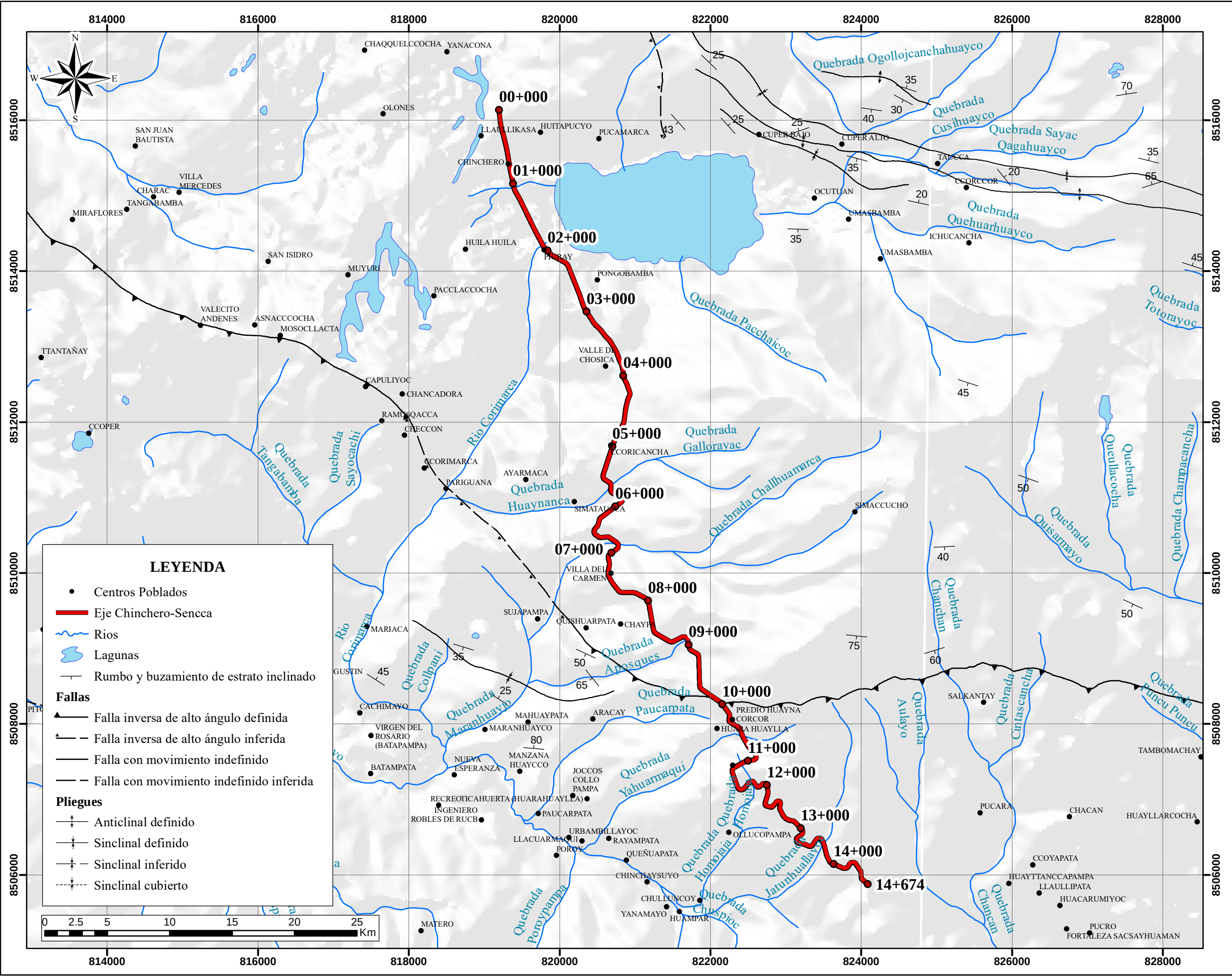
SIMBOLOGÍA											
	Deslizamiento		Pontón o puente proyectado		Conoide de derrubio formado por grandes bloques de rocas sub-angulares		Rasgos de Erosión lineal de talud		Erosión lineal de talud torrencial		Quebrada con erosión lineal del cause permanente con formación de barranco
	Derrumbe		Rumbo y Buzamiento de estratos		Caida de Rocas		Suave (0° - 10°)		Cambio de pendiente suavemente convexa		Erosión lateral de terraza ribereña o terraplen
	Eje del Pliegue Anticinal		Rumbo y Buzamiento de diaclasas		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Cambio de pendiente cóncava / línea de ribera		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasas o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Reptación de Suelos		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Rasgos de depresión o asentamiento del terreno		Fotografías (dirección y N° de foto)
											Gradiente de la quebrada
											Grandes bloques de rocas sueltas con un alto riesgo potencial por fuerte pendiente
											Aluvión
											Cementerio
											Escorrentía superficial lineal
											Ojo de agua
											Dirección del flujo de la corriente fluyente
											Barra longitudinal del río
											Dirección del flujo de la corriente de una quebrada seca
											Viviendas
											Sondataje ejecutado / profundidad
											Sondataje proyectado
											Derrumbe superficial poco o nada activo
											Carretera afirmada
											Derrumbe superficial de roca suelta activo
											Eje nuevo trazo

LEYENDA				UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS
CUATERNARIO	GLACIARIO	GLACIARIO	Q-la	Q-la	Q-la
			Q-cd	Q-cd	Q-cd
			Q-cd	Q-cd	Q-cd
			Q-cd	Q-cd	Q-cd
PALEOLITICO	EOLITICO	EOLITICO	P-1	P-1	P-1
			P-2	P-2	P-2
CRETACIO	SUPERIOR	SUPERIOR	C-35	C-35	C-35
			C-36	C-36	C-36



SIMBOLOGÍA											
	Deslizamiento		Pontón o puente proyectado		Conoide de derrubio formado por grandes bloques de rocas sub-angulares		Rasgos de Erosión lineal de talud		Erosión lineal de talud torrencial		Quebrada con erosión lineal del cause permanente con formación de barranco
	Derrumbe		Rumbo y Buzamiento de estratos		Caída de Rocas		Suave (0° - 10°)		Cambio de pendiente suavemente convexa		Erosión lateral de terraza ribereña o terraplen
	Eje del Pliegue Anticlinal		Rumbo y Buzamiento de diaclasas		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Cambio de pendiente cóncava / línea de ribera		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasas o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Reptación de Suelos		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Rasgos de depresión o asentamiento del terreno		Fotografías (dirección y N° de foto)

LEYENDA				UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	
ERATEMA	SISTEMA	SERIE			
CUATERNARIO	CUATERNARIO			Q-la	Q-la
				Q-cd	Q-cd
				Q-la	Q-la
				Q-la	Q-la
PALEOGENO	EODENO			P-1.50	P-1.50
				P-1.50	P-1.50
CRETACIO	SUPERIOR			C-26	C-26
				C-26	C-26



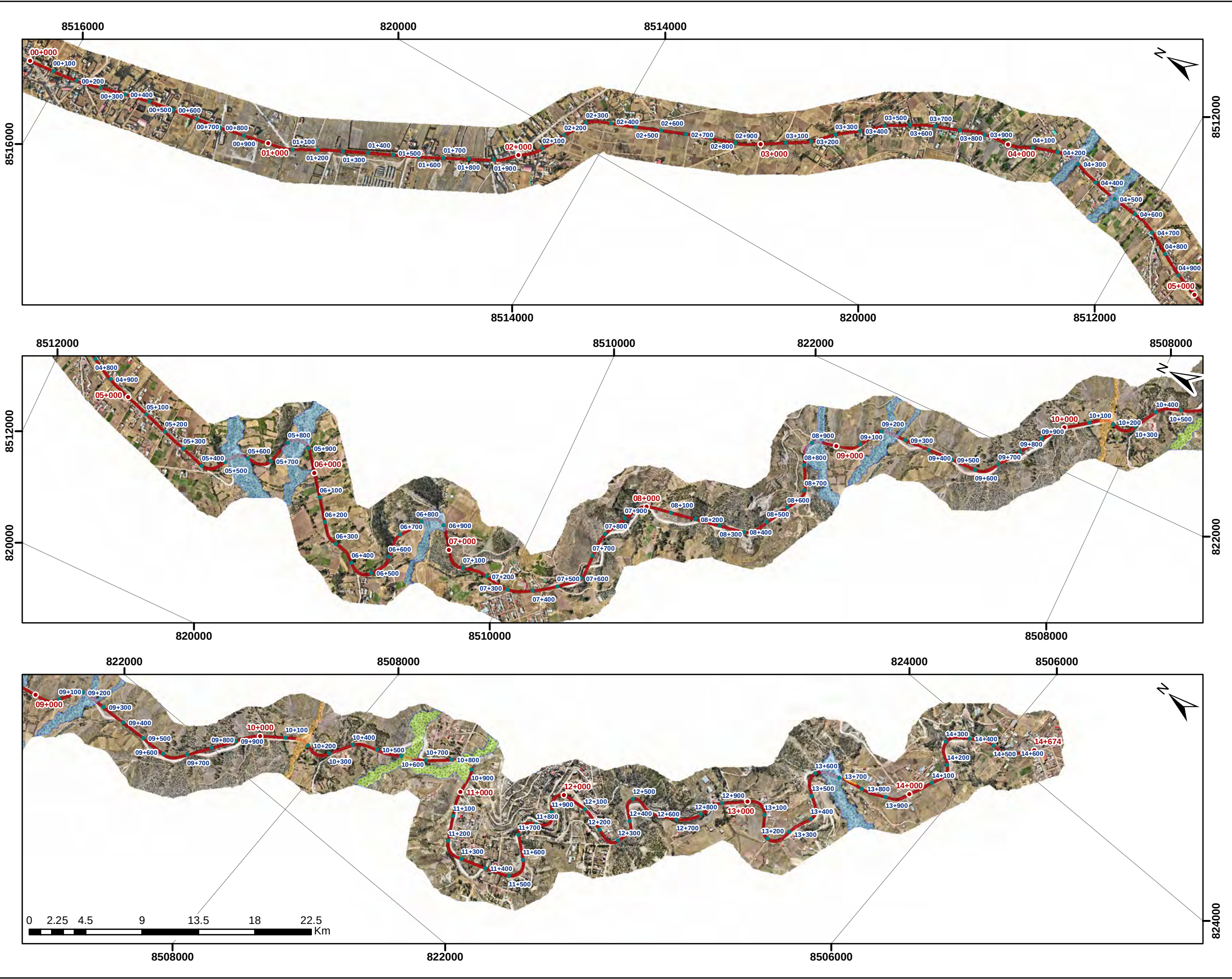
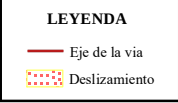


Ubicación regional



Ubicación distrital

Nombre del Sector	Ubicación Progresiva	Clase de Fenómeno	Evaluación	Simbología
S.C # 1	04+250 a 04+300	Erosión de ladera por escorrentía	Medianamente Sensible	
S.C # 2	04+470 a 04+530	Erosión de ladera por escorrentía	Medianamente Sensible	
S.C # 3	05+500 a 05+600	Erosión de ladera por escorrentía	Medianamente Sensible	
S.C # 4	05+750 a 05+900	Erosión de ladera por escorrentía	Sensible	
S.C # 5	06+800 a 06+920	Erosión de ladera por escorrentía	Sensible	
S.C # 6	08+830 a 08+940	Erosión de ladera por escorrentía	Sensible	
S.C # 7	09+200 a 09+270	Erosión de ladera por escorrentía	Sensible	
S.C # 8	10+150 a 10+200	Erosión de ladera por escorrentía-cárcava	Muy Sensible	
S.C # 9	10+590 a 10+660	Erosión de ladera por escorrentía-socavación	Muy Sensible	
S.C # 10	10+810 a 10+960	Erosión de ladera por escorrentía-socavación	Muy Sensible	
S.C # 11	13+620 a 13+710	Erosión de ladera por escorrentía	Sensible	

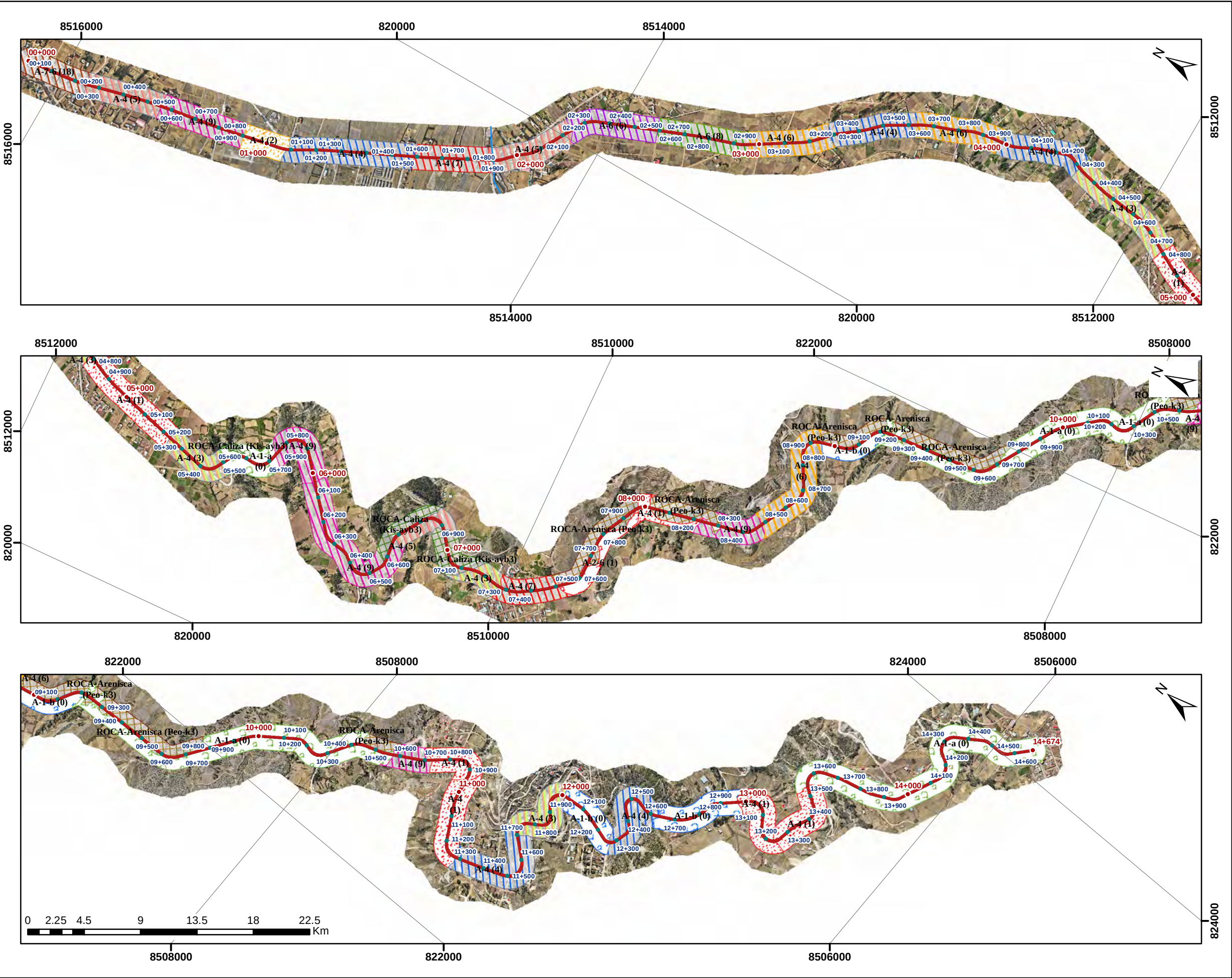
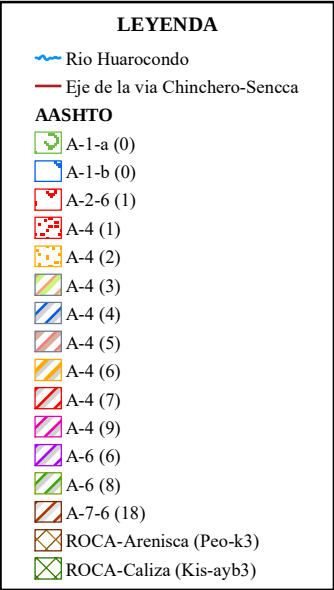


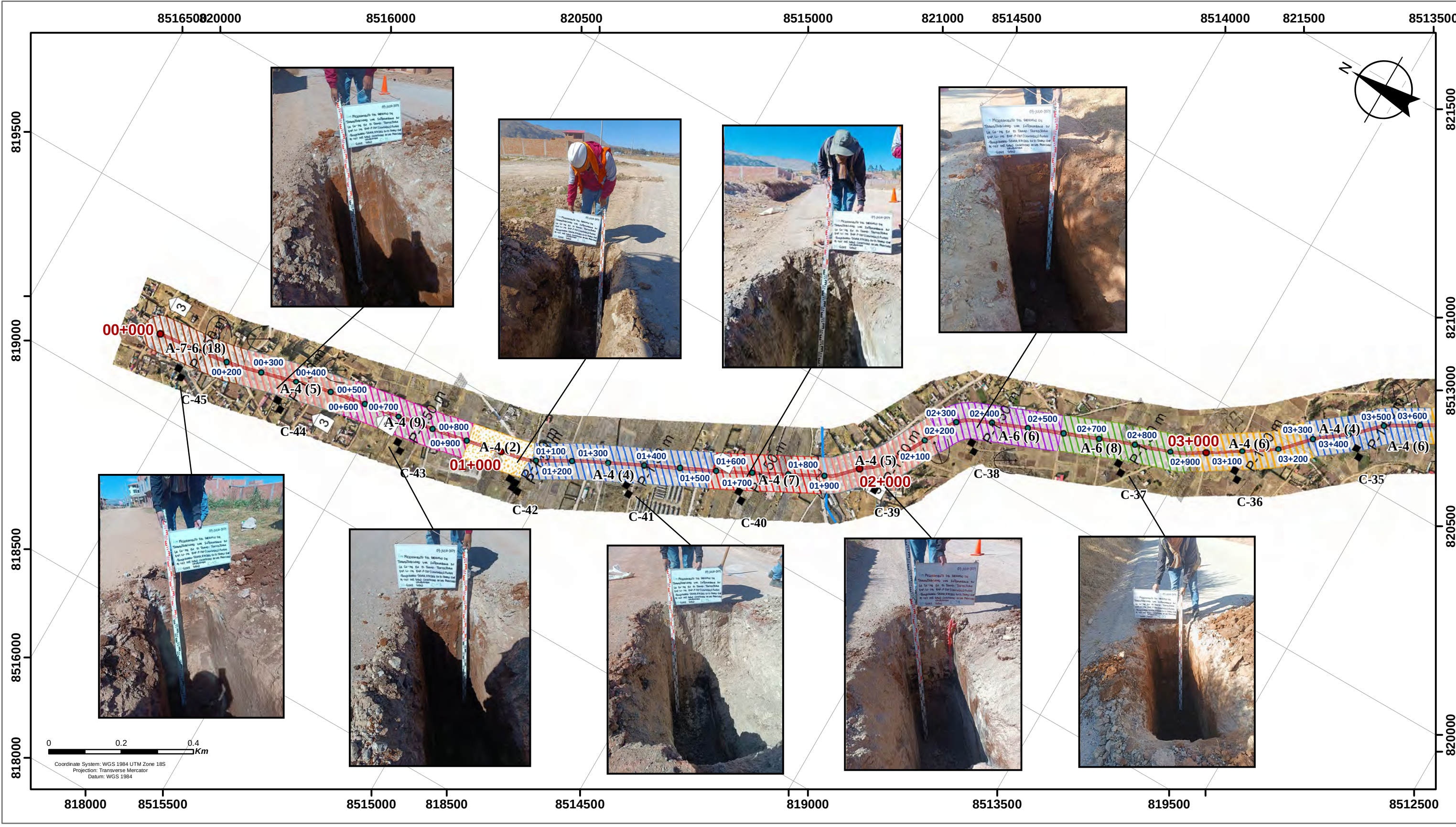


Ubicación regional



Ubicación distrital

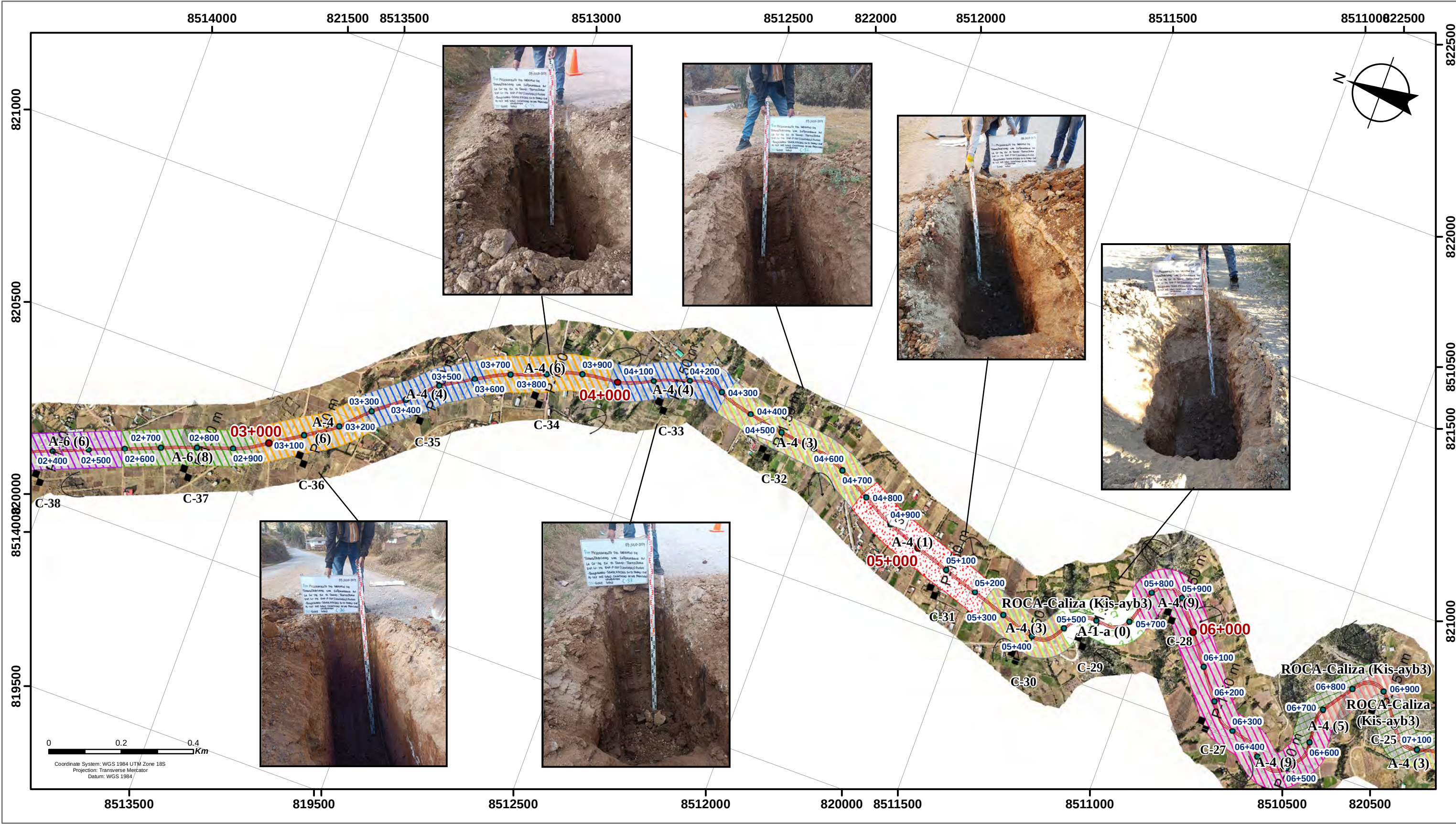




SIMBOLOGÍA											
	Deslizamiento		Pontón o puente proyectado		Conoide de derrubio formado por grandes bloques de rocas sub-angulares		Rasgos de Erosión lineal de talud		Erosión lineal de talud torrencial		Quebrada con erosión lineal del cause permanente con formación de barranco
	Derrumbe		Rumbo y Buzamiento de estratos		Caída de Rocas		Suave (0° - 10°)		Cambio de pendiente suavemente convexa		Erosión lateral de terraza ribereña o terrapién
	Eje del Pliegue Anticlinal		Rumbo y capas verticales		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Cambio de pendiente cóncava / línea de ribera		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasis o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Reptación de Suelos		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Rasgos de depresión o asentamiento del terreno		Fotografías (dirección y N° de foto)

LEYENDA											
	A-1-a (0)		A-4 (3)		A-6 (6)		A-1-b (0)		A-4 (4)		A-6 (8)
	A-2-6 (1)		A-4 (5)		A-7-6 (18)		A-4 (1)		A-4 (6)		ROCA-Arenisca (Pco-k3)
	A-4 (2)		A-4 (7)		A-4 (9)		ROCA-Caliza (Kis-ayb3)				

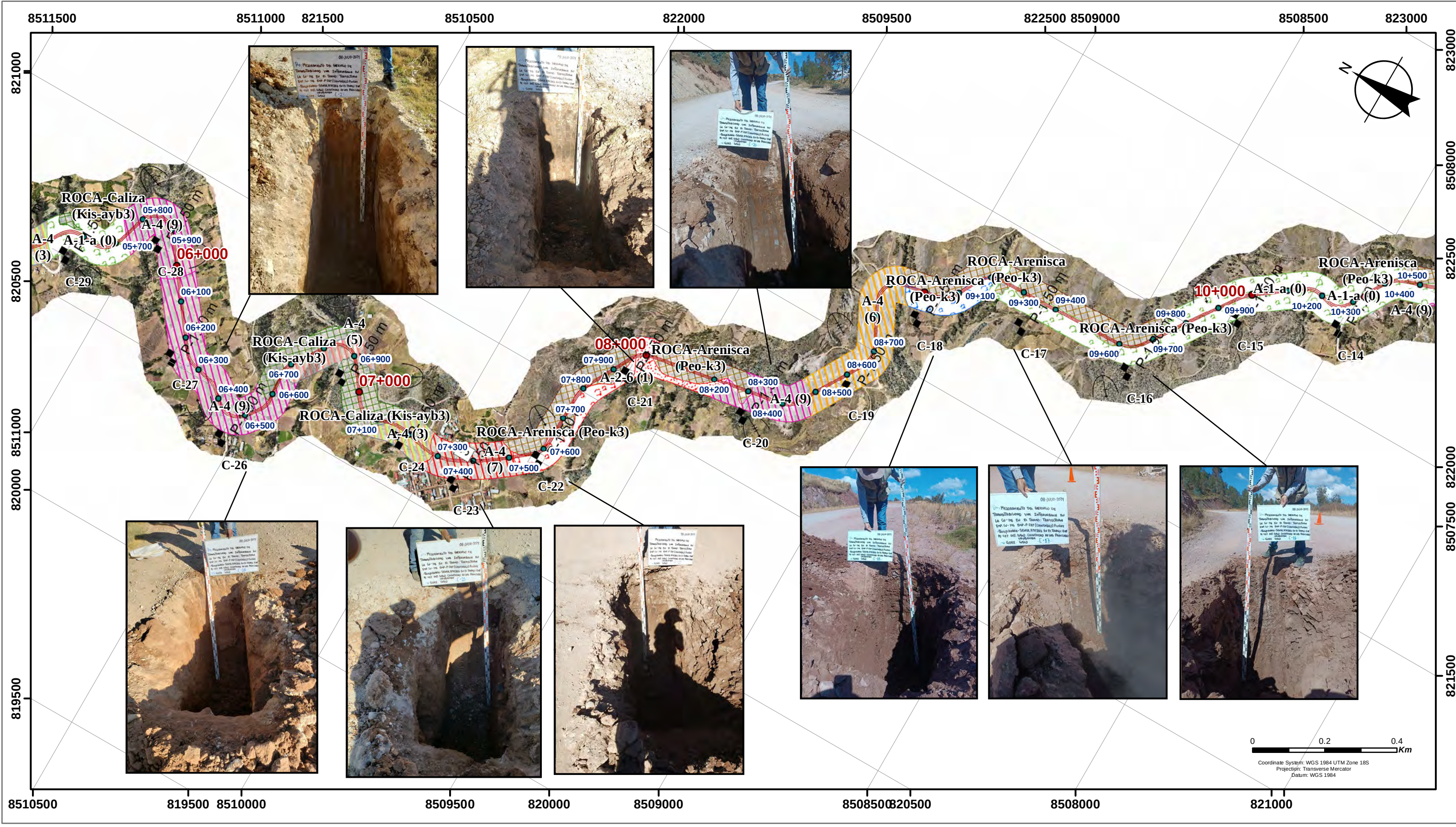
	Dirección del flujo de la corriente fluvial		Barra longitudinal del río		Viviendas		Terrenos de cultivo		Derrumbe superficial poco o nada activo		Derrumbe superficial de roca suelta activo
	Dirección del flujo de la corriente de una quebrada con agua		Dirección del flujo de la corriente de una quebrada seca		Sondaje ejecutado / profundidad		Sondaje proyectado		Carretera afirmada		Eje nuevo trazo



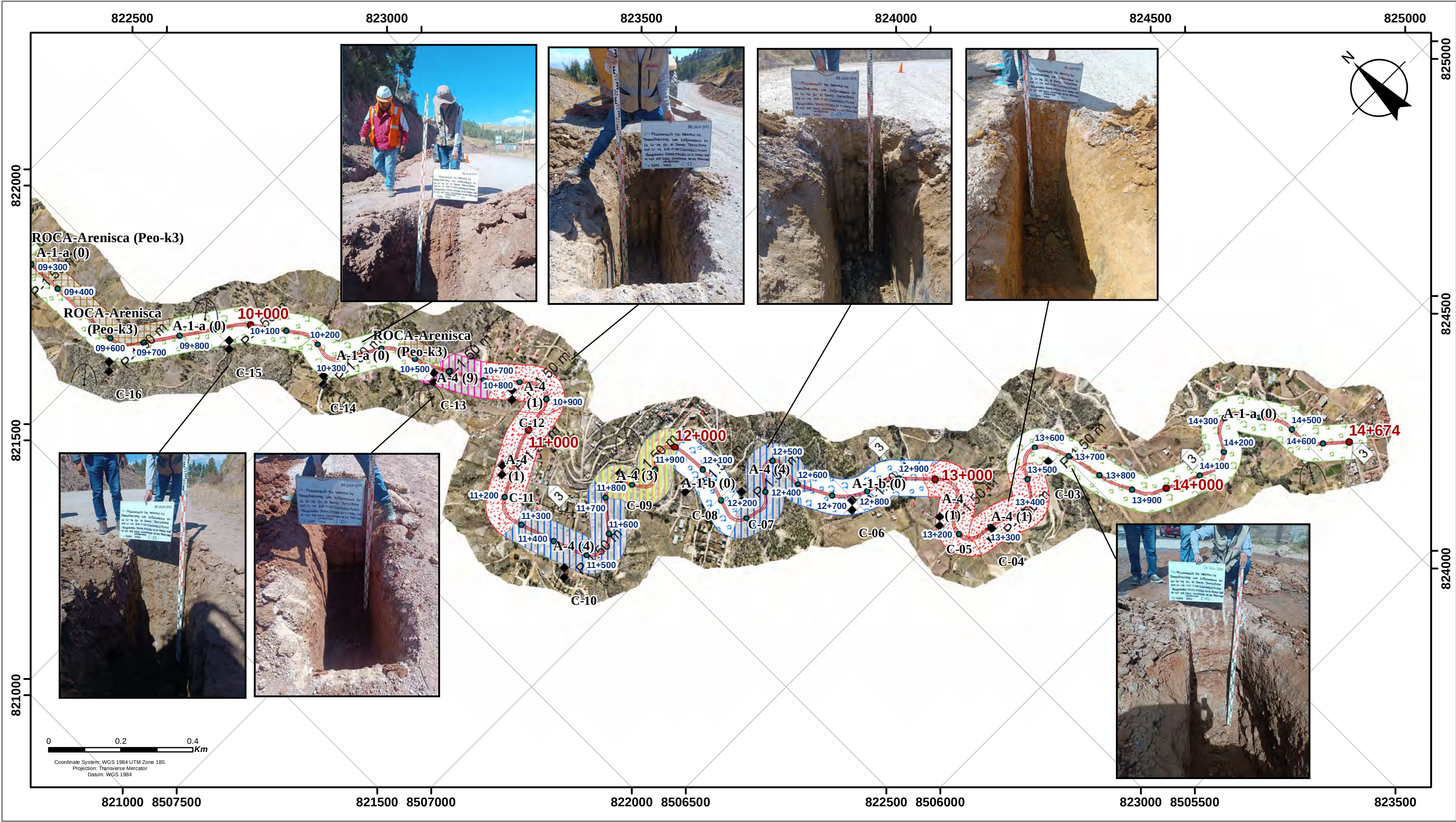
SIMBOLOGÍA											
	Deslizamiento		Pantón o puente proyectado		Conoide de derrubio formado por grandes bloques de rocas sub-angulares		Rasgos de Erosión lineal de talud		Erosión lineal de talud torrencial		Quebrada con erosión lineal del cause permanente con formación de barranco
	Derrumbe		Rumbo y Buzamiento de estratos		Caída de Rocas		Suave (0° - 10°)		Cambio de pendiente suavemente convexa		Erosión lateral de terraza ribereña o terraplen
	Eje del Pliegue Anticlinal		Rumbo y Buzamiento de diaclasas		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Cambio de pendiente cóncava / línea de ribera		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasas o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Reptación de Suelos		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Rasgos de depresión o asentamiento del terreno		Fotografías (dirección y N° de foto)

LEYENDA											
AASHTO				A-4 (3)				A-6 (6)			
	A-1-a (0)		A-4 (4)		A-6 (8)		A-7-6 (18)		ROCA-Arenisca (Peo-k3)		ROCA-Caliza (Kis-ayb3)
	A-1-b (0)		A-4 (5)		A-4 (6)		A-4 (7)		A-4 (9)		
	A-2-6 (1)		A-4 (6)		A-4 (7)		A-4 (9)				
	A-4 (1)		A-4 (7)		A-4 (9)						
	A-4 (2)		A-4 (9)								

	Dirección del flujo de la corriente fluvial		Barra longitudinal del río		Viviendas		Terrenos de cultivo		Derrumbe superficial poco o nada activo		Derrumbe superficial de roca suelta activo
	Dirección del flujo de la corriente de una quebrada con agua		Dirección del flujo de la corriente de una quebrada seca		Sondaje ejecutado / profundidad		Sondaje proyectado		Carretera afirmada		Eje nuevo trazado



SIMBOLOGÍA									
	Deslizamiento		Pontón o puente proyectado		Conoide de derrubio		Rasgos de Erosión lineal		Quebrada con erosión lineal
	Derrumbe		Rumbo y buzamiento de estratos		Caída de Rocas		Suave (0° - 10°)		Erosión lateral de terraza
	Eje del Pliegue Anticlinal		Rumbo y capas verticales		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasis o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Fotografías (dirección y N° de foto)



SIMBOLOGÍA											
	Deslizamiento		Pontón o puente proyectado		Conoide de derrubio formado por grandes bloques de rocas sub-angulares		Rasgos de Erosión lineal de talud		Erosión lineal de talud torrencial		Quebrada con erosión lineal del cause permanente con formación de barranco
	Derrumbe		Rumbo y Buzamiento de estratos		Caída de Rocas		Suave (0° - 10°)		Cambio de pendiente suavemente convexa		Erosión lateral de terraza ribereña o terrapién
	Eje del Pliegue Anticlinal		Rumbo y capas verticales		Flujos de Lodo		Moderada (10° - 20°)		Cambio de pendiente cóncava / línea de ribera		Bloques de roca
	Eje del Pliegue Sinclinal		Diaclasis o fracturas verticales		Abanico Aluvial		Empinada (20° - 35°)		Reptación de Suelos		Ruina arqueológica
			Corte abrupto de terrenos				Muy Empinada		Rasgos de depresión o asentamiento del terreno		Fotografías (dirección y N° de foto)

LEYENDA											
	A-1-a (0)		A-4 (3)		A-6 (6)		A-1-b (0)		A-4 (4)		A-6 (8)
	A-2-b (1)		A-4 (5)		A-7-6 (18)		A-4 (1)		A-4 (6)		ROCA-Arenisca (Peo-k3)
	A-4 (2)		A-4 (7)		A-4 (9)		ROCA-Caliza (Kis-ayb3)				

	Dirección del flujo de la corriente fluvial		Barra longitudinal del río		Viviendas		Terrenos de cultivo		Derrumbe superficial poco o nada activo		Derrumbe superficial de roca suelta activo
	Dirección del flujo de la corriente de una quebrada con agua		Dirección del flujo de la corriente de una quebrada seca		Sondaje ejecutado / profundidad		Sondaje proyectado		Carretera afirmada		Eje nuevo trazado



Ubicación regional



Ubicación provincial



Ubicación distrital

