

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



**TESIS**

**ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN  
DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN  
GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024**

**PRESENTADO POR:**

Br. ROLY AYMACHOQUE GONZALO

Br. HENRY QUISPE MAMANI

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

**ASESOR:**

Mg. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

**CUSCO - PERÚ  
2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** ..... EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA .....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO  
DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY  
PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE-QUISPICANCHI-CUSCO,  
2024  
.....

Presentado por: HENRY QUISPE MAMANI ..... DNI N° 48232928 ;  
presentado por: ROLY AYMACHOQUE GONZALO ..... DNI N°: 75690415

Para optar el título Profesional/Grado Académico de .....  
INGENIERO GEOLOGO .....

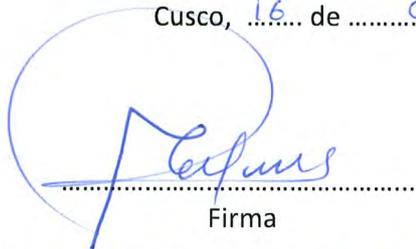
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

### 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.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
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.	<input type="checkbox"/>

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, 16 de ..... OCTUBRE ..... de 2025.....

  
.....  
Firma

Post firma. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

Nro. de DNI. 23853084.....

ORCID del Asesor..... 0000-0002-3236-025X.....

#### Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:512512553.....

# Aymachoque - Quispe

## Estudio Geológico y Geotécnico de los Suelos de Fundación del Centro Poblado Huacarpay

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:512512553

Fecha de entrega

13 oct 2025, 8:03 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

13 oct 2025, 8:45 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis Aymachoque,R.-Quispe,H.pdf

Tamaño del archivo

16.1 MB

205 páginas

51.730 palabras

260.388 caracteres

# 10% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- ▶ Coincidencias menores (menos de 25 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

-  **Caracteres reemplazados**  
45 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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 mis padres Pedro Antaquio Aymachoque Sasari y Norma Gonzalo Chata, así como a mis hermanos Uriel, Gladys, Yanina y Yuri.

Por su incondicionalidad, cariño, apoyo y compañía desde mis primeros pasos. Siempre los llevo y los llevaré presente.

*Roly Aymachoque Gonzalo*

**DEDICATORIA**

A mis padres, Feliciano y Antolina, y a mis hermanos Armando, Josue y mi pequeña hermana Harumi Keisha: ustedes son el cimiento de mi vida y la motivación que me impulsa. A cada uno de ustedes, gracias por ser mi fortaleza.

*Henry Quispe Mamani*

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi compañero de tesis, Roly Aymachoque, por su invaluable colaboración, dedicación y por haber enfrentado este desafío académico a mi lado hasta cumplir nuestra meta.

Extiendo también mi gratitud a los docentes que guiaron nuestro camino, el Ing. Victor Gárate y el Ing. Tedy Morocho, cuyas enseñanzas y consejos fueron esenciales para materializar este proyecto.

No puedo dejar de mencionar a la familia PRO INGEMA SAC, en particular para Gamel R. Flores y el Ing. Alberth E. Mallqui, junto a su familia, por su apoyo permanente e incondicional. Finalmente, extiendo mi gratitud a todas las personas que, de manera directa o indirecta, brindaron su aliento para culminar esta etapa.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, a la vida y a mi querida familia por darme la oportunidad de existir, aprender y apreciar cada instante.

A mi colega y amiga Ing. Rocío L. Choque Alarcón, a mi compañero de tesis Henry Quispe Mamani, y a todas aquellas personas quienes me brindaron su apoyo en algún momento de este proceso.

A los ingenieros Alberth E. Mallqui Ttupa, Tedy Marocho Ore y Victor V. Gárate Góngora por toda la ayuda y asesoría brindada.

A mi casa de estudios UNSAAC por la formación profesional, junto a mis compañeros por todas las experiencias vividas.



## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal zonificar geotécnicamente los suelos superficiales de fundación del centro poblado Huacarpay, basado en un riguroso estudio geológico y geotécnico. Ubicado en Lucre, Quispicanchi, Cusco, este estudio surge ante la necesidad de cubrir la falta de información ocasionada por la heterogeneidad geológica-geotécnica de la zona, caracterizada por su ambiente lacustre-fluvial, que genera suelos con bajas a moderadas capacidades portantes y asentamientos de moderados a altos debido a su origen lacustre.

Para cumplir dicho propósito, se realizaron trabajos de precampo, campo, laboratorio y postcampo, logrando caracterizar geológicamente el lugar mediante la interpretación, correlación y análisis conjunto de información geomorfológica, litoestratigráfica, geoestructural y de niveles freáticos, integrándolos posteriormente con la determinación y análisis de parámetros geotécnicos que permitieron calcular capacidades admisibles y asentamientos totales. Con la integración de esta información se desarrollaron dos modelos explícitos tridimensionales: uno litoestratigráfico y otro geotécnico. A partir de este último, se zonificó el área en cinco unidades geotécnicas a 1.50 m de profundidad y ocho zonas a 3.50 m.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), los suelos granulares en la zona de estudio (arenas y gravas) presentan capacidades admisibles superiores a 1.50 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los suelos finos (arcillas y limos) poseen bajas capacidades entre 0.5 y 1.0 kg/cm<sup>2</sup>. Además, el análisis de asentamientos indicó deformaciones mayores a 10 cm en suelos altamente deformables como arcillas de alta plasticidad (CH) y arcillas orgánicas (OH).

**Palabras clave:** Caracterización geológica, parámetros geotécnicos, zonificación geotécnica, suelos de fundación.

## ABSTRACT

The present research aimed to geotechnically zonify the shallow foundation soils of the Huacarpay settlement, based on a rigorous geological and geotechnical study. Located in Lucre, Quispicanchi, Cusco, this study arises from the need to address the lack of information caused by the geological–geotechnical heterogeneity of the area, characterized by its lacustrine–fluvial environment, which produces soils with low to moderate bearing capacities and moderate to high settlements due to their lacustrine origin.

To achieve this purpose, pre-field, field, laboratory, and post-field work were carried out, allowing for the geological characterization of the site through the interpretation, correlation, and integrated analysis of geomorphological, lithostratigraphic, geostructural, and groundwater-level information. These data were subsequently combined with the determination and analysis of geotechnical parameters that enabled the estimation of allowable bearing capacities and total settlements. Integrating all this information led to the development of two explicit three-dimensional models: one lithostratigraphic and another geotechnical. Based on the latter, the area was zoned into five geotechnical units at a depth of 1.50 m and eight zones at 3.50 m

According to the Unified Soil Classification System (USCS), the granular soils in the study area (sands and gravels) exhibit allowable bearing capacities greater than 1.50 kg/cm<sup>2</sup>, whereas the fine soils (clays and silts) present lower capacities ranging from 0.5 to 1.0 kg/cm<sup>2</sup>. Furthermore, settlement analysis indicated deformations exceeding 10 cm in highly compressible soils such as high-plasticity clays (CH) and organic clays (OH).

**Keywords:** Geological characterization, geotechnical parameters, geotechnical zoning, foundation soils.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano del Centro Poblado de Huacarpay se desarrolla sobre un ambiente Lacustre-Fluvial, donde la última composición representa una condición geotécnica desfavorable debido a su alta compresibilidad y baja capacidad portante. Esta configuración estratigráfica ha generado patologías constructivas generalizadas en las estructuras, manifestadas mediante asentamientos diferenciales y fisuras, como consecuencia directa de la interacción entre rellenos antrópicos no compactados y suelos finos subyacentes.

Ante este escenario, la presente investigación tiene como objetivo principal realizar un estudio geológico-geotécnico a través de una caracterización geológica, determinación y análisis de parámetros geotécnicos; para integrarlos en una zonificación geotécnica de los suelos de fundación del mencionado poblado.

La estructura del documento sigue una secuencia lógica de análisis donde: el capítulo I plasma aspectos generales del lugar como accesibilidad, ubicación, delimitación de zonas de trabajo, entre otros, el capítulo II plantea el problema, los objetivos y la hipótesis, sustentando la necesidad del estudio. El Capítulo III establece las bases teóricas a usar a través de un marco teórico-conceptual, integrando conceptos geotécnicos y revisando investigaciones análogas. El Capítulo IV detalla la metodología, describiendo las etapas de pre-campo (análisis de imágenes satelitales y planificación), campo (calicatas, muestreo y ensayos in situ) y pos-campo (ensayos de laboratorio para determinar propiedades físico-mecánicas como su procesamiento).

Los Capítulos V al VIII detallan la caracterización geológica local del lugar a través de su geomorfología, litoestratigrafía, geología Estructural y el análisis de niveles freáticos, por supuesto todo el conjunto bajo sus contextos regionales.

En el Capítulo IX, se detallan los ensayos de laboratorio y se analizan los parámetros geotécnicos obtenidos calculando capacidades admisibles, asentamientos y licuación de suelos.

Finalmente, el Capítulo X integra todos los resultados obtenidos y lo plasma en dos zonificaciones geotécnicas a profundidades de 1.50 m y 3.50 m, clasificando los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay según su caracterización geológica y parámetros geotécnicos determinados y analizados. El documento culmina con conclusiones, recomendaciones técnicas específicas, referencias bibliográficas y anexos.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
I. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Ubicación.....	1
1.1.1. Ubicación política.....	1
1.1.2. Ubicación geográfica.....	1
1.1.3. Ubicación hidrográfica .....	1
1.1.4. Zonas de estudio .....	2
1.2. Accesibilidad .....	3
1.3. Aspectos geográficos .....	4
1.3.1. Clima .....	4
1.3.2. Vegetación .....	4
II. PROBLEMA.....	5
2.1. Formulación del problema .....	5
2.1.1. Descripción del problema.....	5
2.1.2. Planteamiento del problema general .....	6
2.1.3. Planteamiento de problemas específicos .....	6
2.2. Objetivos.....	7
2.2.1. Objetivo general .....	7
2.2.2. Objetivos específicos.....	7
2.3. Hipótesis .....	7
2.3.1. Hipótesis general .....	7
2.3.2. Hipótesis específicas .....	7
2.4. Justificación .....	8
2.4.1. Conveniencia .....	8
2.4.2. Relevancia social .....	9
2.4.3. Implicancias prácticas .....	9
2.4.4. Valor teórico .....	9
2.4.5. Utilidad metodológica .....	9
III. BASES TEÓRICAS .....	10
3.1. Marco normativo.....	10
3.1.1. Ensayos de campo y laboratorio.....	10
3.1.2. Parámetros de resistencia .....	11
3.2. Marco teórico – conceptual.....	11
3.3. Marco referencial.....	25

3.3.1.	Antecedentes internacionales .....	25
3.3.2.	Antecedentes nacionales.....	26
3.3.3.	Antecedentes locales.....	27
IV.	MARCO METODOLÓGICO .....	28
4.1.	Método de investigación .....	28
4.1.1.	Enfoque mixto .....	28
4.1.2.	Tipo aplicado .....	28
4.1.3.	Diseño no experimental .....	28
4.1.4.	Nivel correlacional .....	29
4.2.	Metodología de trabajo .....	29
4.2.1.	Etapa de precampo.....	29
4.2.2.	Etapa de campo.....	30
4.2.3.	Etapa de postcampo .....	30
4.3.	Técnicas y equipos de recolección de datos .....	31
4.4.	Limitaciones de investigación.....	32
4.5.	VARIABLES DE ESTUDIO .....	33
4.6.	Matriz de consistencia .....	35
V.	GEOMORFOLOGÍA .....	36
5.1.	Contexto geomorfológico regional .....	36
5.1.1.	Topografía y relieve.....	36
5.1.2.	Unidades geomorfológicas .....	36
5.2.	Geomorfología local .....	37
5.2.1.	Topografía y relieve.....	37
5.2.2.	Unidades geomorfológicas .....	39
5.2.3.	Correlación e interpretación de unidades geomorfológicas .....	44
5.2.4.	Aportes geomorfológicos para la zonificación geotécnica.....	45
VI.	LITOESTRATIGRAFÍA .....	46
6.1.	Contexto litoestratigráfico regional .....	46
6.1.1.	Fundamentos.....	46
6.1.2.	Unidades litoestratigráficas .....	47
6.2.	Litoestratigrafía local .....	49
6.2.1.	Fundamentos.....	49
6.2.2.	Unidades litológicas .....	49
6.2.3.	Genesis, correlación, interpretación de unidades litológicas.....	59
6.2.4.	Litoestratigrafía de calicatas de exploración .....	61
6.2.5.	Correlación, interpretación y secuencia litoestratigráfica .....	69
6.2.6.	Perfiles litoestratigráficos .....	71

6.2.7.	Modelamiento tridimensional explícito litoestratigráfico .....	79
6.2.8.	Aportes litoestratigráficos para la zonificación geotécnica.....	84
VII.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	85
7.1.	Contexto geológico estructural regional .....	85
7.1.1.	Fundamentos.....	85
7.1.2.	Dominios estructurales .....	86
7.1.3.	Neotectónica regional .....	87
7.2.	Geología estructural local .....	89
7.2.1.	Fundamentos.....	89
7.2.2.	Unidades geológicas estructurales.....	90
7.2.3.	Correlación e interpretación de unidades geológicas estructurales .....	94
7.2.4.	Aportes geológicos estructurales para la zonificación geotécnica .....	95
VIII.	ANÁLISIS DE NIVELES FREÁTICOS .....	96
8.1.	Nivel freático .....	96
8.2.	Infiltración .....	97
8.3.	Correlación e interpretación de niveles freáticos e infiltraciones.....	100
8.4.	Aportes de análisis niveles freáticos en la zonificación geotécnica .....	102
IX.	GEOTECNIA .....	103
9.1.	Fundamentos.....	103
9.2.	Equipos .....	103
9.2.1.	Equipo de laboratorio y campo.....	103
9.3.	Investigación de la zona de estudio .....	104
9.3.1.	Reconocimiento geológico local de la zona de estudio.....	104
9.3.2.	Trabajo de campo .....	104
9.3.3.	Ensayos de campo .....	106
9.3.4.	Ensayos de laboratorio .....	110
9.3.5.	Descripción geotécnica del perfil estratigráfico .....	124
9.4.	Parámetros geotécnicos y análisis.....	129
9.4.1.	Propiedades del suelo .....	129
9.4.2.	Cálculo de capacidad admisible .....	130
9.4.3.	Cálculo de asentamientos .....	133
X.	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	146
10.1.	Fundamentos .....	146
10.2.	Integración de resultados.....	147
10.3.	Perfiles geotécnicos.....	150
10.4.	Modelamiento tridimensional explícito geotécnico .....	158
10.5.	Superficies de zonificación geotécnica .....	172

10.5.1. Superficie de zonificación a 1.50m de profundidad.....	173
10.5.2. Superficie de zonificación a 3.50m de profundidad:.....	175
10.6. Unidades de zonificación geotécnica .....	177
10.6.1. Zonificación geotécnica a 1.50m de profundidad: .....	178
10.6.2. Zonificación geotécnica a 3.50m de profundidad: .....	178
CONCLUSIONES.....	179
RECOMENDACIONES .....	182
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	185
ANEXOS.....	187

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación política del centro poblado Huacarpay.....	1
Tabla 2. Ubicación geográfica del centro poblado Huacarpay .....	1
Tabla 3 Ubicación hidrográfica del centro poblado Huacarpay .....	2
Tabla 4. Normas Técnicas Peruanas (NTP) y los estándares ASTM.....	10
Tabla 5 Clasificación y grados de infiltración .....	16
Tabla 6 Especificaciones de equipos para ensayos DPL .....	17
Tabla 7. Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS).....	20
Tabla 8. Cuadro de sistematización de variables .....	34
Tabla 9. Matriz de consistencia .....	35
Tabla 10. Unidades geomorfológicas regionales.....	37
Tabla 11. Ubicación UTM de calicatas de exploración.....	38
Tabla 12. Estratigrafía de la calicata C-01 .....	62
Tabla 13. Estratigrafía de la calicata C-02.....	63
Tabla 14. Estratigrafía de la calicata C-03 .....	64
Tabla 15. Estratigrafía de la calicata C-04.....	65
Tabla 16. Estratigrafía de la calicata C-05.....	66
Tabla 17. Estratigrafía de la calicata C-06.....	67
Tabla 18. Estratigrafía de la calicata C-07.....	68
Tabla 19. Litoestratigrafía del Área Huacarpay.....	70
Tabla 20. Fallas inversas locales.....	91
Tabla 21. Fallas normales locales .....	91
Tabla 22. Pliegues locales.....	93
Tabla 23. Familias de diaclasas .....	93

Tabla 24. Niveles freáticos .....	96
Tabla 25. Ensayo de infiltración para el punto P-01.....	97
Tabla 26. Ensayo de infiltración para el punto P-02.....	98
Tabla 27. Ensayo de infiltración para el punto P-03.....	99
Tabla 28. Coordenadas de exploración de calicatas de exploración.....	105
Tabla 29. Ensayos utilizados en campo .....	106
Tabla 30. Correlación del DPL y el ensayo de SPT, 1 .....	108
Tabla 31. Correlación del DPL y el ensayo de SPT, 2.....	109
Tabla 32. Ensayos utilizados en laboratorio .....	111
Tabla 33. Tabla de contenido de humedad.....	111
Tabla 34. Tabla límites de consistencia .....	113
Tabla 35. Cuadro resumen de ensayos de clasificación.....	115
Tabla 36. Densidades de suelos .....	118
Tabla 37. Parámetros de resistencia.....	120
Tabla 38. Parámetros obtenidos del ensayo de consolidación.....	122
Tabla 39. Determinación de Sales, Cloruros y Sulfatos .....	124
Tabla 40. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-01.....	125
Tabla 41. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-02.....	126
Tabla 42. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-03 y C-04.....	127
Tabla 43. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-05 y C-06.....	128
Tabla 44. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-07.....	129
Tabla 45. Parámetros de Resistencia y de Asentamientos .....	130
Tabla 46. Cálculos de capacidad admisible de cada punto de exploración .....	132
Tabla 47. Asentamientos inmediatos para 1 nivel .....	134
Tabla 48. Asentamientos inmediatos para 3 niveles .....	135
Tabla 49. Asentamientos inmediatos para 5 niveles .....	136
Tabla 50. Asentamientos por consolidación para 1 nivel .....	138
Tabla 51. Asentamientos por consolidación para 3 niveles .....	139
Tabla 52. Asentamientos por consolidación para 5 niveles .....	140
Tabla 53. Cálculos de asentamientos totales para 1 nivel.....	142
Tabla 54. Cálculos de asentamientos totales para 3 niveles .....	143
Tabla 55. Cálculos de asentamientos totales para 5 niveles .....	144
Tabla 56. Clasificación de suelos SUCS, vista 1 .....	148
Tabla 57. Clasificación de suelos SUCS, vista 2.....	148

Tabla 58. Parámetros geotécnicos determinados para la zona de estudio .....	149
Tabla 59. Rangos de parámetros determinantes para perfiles geotécnicos y zonificación .....	151
Tabla 60. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 3-4 .....	152
Tabla 61. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 2-3 .....	152
Tabla 62. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-6 .....	153
Tabla 63. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 4-5 .....	153
Tabla 64. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 1-7 .....	154
Tabla 65. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 2-1 .....	154
Tabla 66. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-5 .....	155
Tabla 67. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 1-4 .....	156
Tabla 68. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-4 .....	156
Tabla 69. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 5-6 .....	157
Tabla 70. Rangos de parámetros determinantes para perfil geotécnico 1-3 .....	157
Tabla 71. Ponderación de valores para zonificación a 1.50m de profundidad .....	177
Tabla 72. Ponderación de valores para zonificación a 3.50m de profundidad .....	177
Tabla 73. Cuadro final de parámetros geotécnicos para zonificación geotécnica a 1.50m de profundidad.....	178
Tabla 74. Cuadro final de parámetros geotécnicos para zonificación geotécnica a 3.50m de profundidad.....	178

### **INDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFIAS**

Figura 1. Jerarquización de zonas de estudio a escala local y regional.....	3
Figura 2. Croquis de accesibilidad al centro poblado Huacarpay .....	4
Figura 3. Clasificación de niveles fisiográficos.....	11
Figura 4. Esquema de ríos meandriformes .....	14
Figura 5. Método de ensayo para el análisis granulométrico .....	18
Figura 6. Límites de Atterberg e índices con ellos asociados.....	19
Figura 7. Gráfica de plasticidad.....	20
Figura 8. Diagrama de la caja dividida para la prueba de corte directo .....	21
Figura 9. Ensamblado del espécimen en el equipo de consolidación unidimensional ....	22
Figura 10. equipo de consolidación unidimensional .....	23
Figura 11. Ecuación de capacidad de carga según Meyerhof.....	25
Figura 12. Ubicación de calicatas de exploración en la zona de estudio local.....	39

Figura 13. Columna litoestratigráfica de la zona de estudio regional .....	48
Figura 14. Secuencia sedimentaria de ríos meandriformes .....	60
Figura 15. Proyección de cortes litoestratigráficos .....	71
Figura 16. Corte litoestratigráfico 3-4 (margen izquierdo) .....	72
Figura 17. Corte litoestratigráfico 3-4 (margen derecho).....	73
Figura 18. Corte litoestratigráfico 2-3 .....	74
Figura 19. Corte litoestratigráfico 5-6 .....	75
Figura 20. Corte litoestratigráfico 7-6 .....	75
Figura 21. Corte litoestratigráfico 4-5 .....	76
Figura 22. Corte litoestratigráfico 1-7 .....	76
Figura 23. Corte litoestratigráfico 2-1 (margen izquierdo) .....	77
Figura 24. Corte litoestratigráfico 2-1 (margen derecho).....	77
Figura 25. Corte litoestratigráfico 7-5 .....	78
Figura 26. Corte litoestratigráfico 1-4 .....	78
Figura 27. Corte litoestratigráfico 7-4 .....	79
Figura 28. Corte litoestratigráfico 1-3 .....	79
Figura 29. Delimitación de modelo 3D .....	80
Figura 30. Delimitación de modelo 3D .....	80
Figura 31. Importación de secciones litoestratigráficas .....	81
Figura 32. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 1 .....	81
Figura 33. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 2 .....	82
Figura 34. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 3 .....	82
Figura 35. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 4 .....	82
Figura 36. Unidades inferiores del modelo litoestratigráfico 3D .....	83
Figura 37. Unidades intermedias del modelo litoestratigráfico 3D.....	83
Figura 38. Unidades superiores del modelo litoestratigráfico 3D.....	83
Figura 39. Modelo litoestratigráfico 3D final.....	84
Figura 40. Dominios estructurales regionales .....	87
Figura 41. Proyección de la falla inversa Cusco, vista en planta .....	89
Figura 42. Proyección de la falla Cusco, vista en perfil .....	89
Figura 43. Puntos de infiltración en la zona de estudio local .....	97
Figura 44. Calicatas de exploración en el Área Huacarpay.....	105
Figura 45. Perfil geotécnico 3-4 (margen izquierdo) .....	152
Figura 46. Perfil geotécnico 3-4 (margen derecho).....	152

Figura 47. Perfil geotécnico 2-3 .....	153
Figura 48. Perfil geotécnico 7-6 .....	153
Figura 49. Perfil geotécnico 4-5 .....	154
Figura 50. Perfil geotécnico 1-7 .....	154
Figura 51. Perfil geotécnico 2-1 (margen izquierdo) .....	155
Figura 52. Perfil geotécnico 2-1 (margen derecho).....	155
Figura 53. Perfil e geotécnico 7-5 .....	155
Figura 54. Perfil geotécnico 1-4 .....	156
Figura 55. Perfil geotécnico 7-4 .....	156
Figura 56. Perfil geotécnico 5-6 .....	157
Figura 57. Perfil geotécnico 1-3 .....	157
Figura 58. Apertura de modelo litoestratigráfico .....	158
Figura 59. Superposición de perfiles geotécnicos .....	158
Figura 60. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 1.....	159
Figura 61, Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 2.....	159
Figura 62. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 3.....	160
Figura 63. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 4.....	160
Figura 64. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 1 .....	160
Figura 65. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 2 .....	161
Figura 66. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 3 .....	161
Figura 67. Modelo tridimensional geotécnico final.....	161
Figura 68. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 3-4 .....	162
Figura 69. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 2-3 .....	163
Figura 70. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-6 .....	164
Figura 71. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 4-5 .....	165
Figura 72. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-7 .....	166
Figura 73. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 2-1 .....	167
Figura 74. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-5 .....	168
Figura 75. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-4 .....	169
Figura 76. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-4 .....	170
Figura 77. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 5-6 .....	171
Figura 78. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-3 .....	172
Figura 79. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 1.....	173

Figura 80. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 2.....	173
Figura 81. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 3.....	174
Figura 82. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 4.....	174
Figura 83. Vista de modelo geotécnico 3D, cortado a 1.50m de profundidad .....	174
Figura 84. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 1.....	175
Figura 85. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 2.....	175
Figura 86. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 3.....	176
Figura 87. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 4.....	176
Figura 88. Vista de modelo geotécnico 3D, cortado a 3.50m de profundidad .....	176
Fotografía 1. Vertiente de montaña baja estructural (Vmb-SeEs).....	40
Fotografía 2. Pie de monte coluvial (Pmb-Co).....	40
Fotografía 3. Cima de colina baja volcánica (Ccb-Vo) .....	41
Fotografía 4. Ladera de colina baja volcánica (Lcb-Vo) .....	41
Fotografía 5. Llanura lacustrina (Ll-La).....	42
Fotografía 6. Llanura de inundación Fluviolacustrina (Lli-FiLa) .....	42
Fotografía 7. Canal activo de cauce fluvial (Ca-Fl) .....	43
Fotografía 8. Canal activo lacustrino fluvial (Ca-LaFl) .....	43
Fotografía 9. Material antrópico (An) .....	44
Fotografía 10. Intercalación de miembros de la formación Huancané (Ki-Hu).....	50
Fotografía 11. Miembro superior de la formación Huancané (Ki-Hu).....	51
Fotografía 12. Andesita shoshoníticas de textura fluidal de la formación Rumicolca ...	52
Fotografía 13. Andesita shoshoníticas de textura escoriácea de la formación Rumicolca .....	52
Fotografía 14. Traquita Shoshonítica rojiza de la formación Rumicolca .....	52
Fotografía 15. Cuaternario fluvial (Q-Fl).....	53
Fotografía 16. Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa).....	54

Fotografía 17. Cuaternario Lacustrino (Q-la).....	54
Fotografía 18. Cuaternario Lacustrino-Fluvial (Q-LaFl) .....	55
Fotografía 19. Cuaternario Eluvial (Q-El):.....	55
Fotografía 20. Cuaternario Deluvial (Q-De) .....	56
Fotografía 21. Cuaternario Fluviodeluvial (Q-FIDe) .....	57
Fotografía 22. Cuaternario Proluvial (Q-Pr).....	57
Fotografía 23. Cuaternario Coluvial (Q-Co) .....	58
Fotografía 24. Material Antrópico (An) .....	59
Fotografía 25. Vista panorámica de la calicata C-01 .....	62
Fotografía 26. Vista cercana de la calicata C-01 .....	62
Fotografía 27. Vista panorámica de la calicata C-02.....	63
Fotografía 28. Vista cercana de la calicata C-02 .....	63
Fotografía 29. Vista panorámica de la calicata C-03.....	64
Fotografía 30. Vista cercana de la calicata C-03 .....	64
Fotografía 31. Vista panorámica de la calicata C-04.....	65
Fotografía 32. Vista cercana de la calicata C-04 .....	65
Fotografía 33. Vista panorámica de la calicata C-05.....	66
Fotografía 34. Vista cercana de la calicata C-05 .....	66
Fotografía 35. Vista panorámica de la calicata C-06.....	67
Fotografía 36. Vista cercana de la calicata C-06 .....	67
Fotografía 37. Vista panorámica de la calicata C-07.....	68
Fotografía 38. Vista cercana de la calicata C-07 .....	68
Fotografía 39. Vista en perfil de la falla normal local F3 .....	92
Fotografía 40. Vista en perfil de la falla inversa local F4.....	92
Fotografía 41. Vista en perfil de pliegues locales.....	93
Fotografía 42. Vista en perfil de estructuras geológicas locales.....	94
Fotografía 43. Vista panorámica del punto P-01 .....	98
Fotografía 44. Vista cercana del punto P-01.....	98
Fotografía 45. Vista panorámica del punto P-02 .....	99
Fotografía 46. Vista cercana del punto P-02.....	99
Fotografía 47. Vista en campo de punto P-03 .....	100
Fotografía 48. Vista cercana del punto P-03.....	100
Fotografía 49. Vista de corrientes de agua en pared de calicata.....	101
Fotografía 50. Excavación de las calicatas con su respectiva georreferenciación. ....	106

Fotografía 51. Ensayo de PDL en calicatas de exploración .....	107
Fotografía 52. Extracción de muestras representativas en bloques y cilindros de pared delgada.....	110
Fotografía 53. Ensayo de límites de consistencia.....	114
Fotografía 54. Obtención de la densidad por el método del cilindro de pared delgada	117
Fotografía 55. Ensayo de corte Directo .....	120
Fotografía 56. Ensayo de consolidación para los especímenes arcillosos.....	122
Fotografía 57. Presencia de sales en la superficie del terreno .....	123

### **CODIFICACIÓN DE PLANOS**

P-1: Plano de ubicación

G1-1: Plano base regional

G1-2: Plano base local

G1-3: Plano geomorfológico regional

G1-4: Plano geomorfológico local

G1-5: Plano geológico regional

G1-6: Plano neotectónico regional

G1-7: Plano geológico local

G1-8: Perfiles litoestratigráficos

Gt-1: Perfiles geotécnicos

Gt-2: Plano de zonificación geotécnica a 1.50m de profundidad

Gt-3: Plano de zonificación geotécnica a 3.50m de profundidad

## I. ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Ubicación

#### 1.1.1. Ubicación política

Políticamente el área principal de estudio cubre gran extensión del centro poblado de Huacarpay, ubicado al sureste (SE) de la Ciudad de Cusco, en el distrito de Lucre, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco.

*Tabla 1. Ubicación política del centro poblado Huacarpay*

Nivel	Nombre
Departamento	Cusco
Provincia	Quispicanchi
Distrito	Lucre
Centro Poblado	Huacarpay

#### 1.1.2. Ubicación geográfica

El centro poblado de Huacarpay tiene como punto central, las coordenadas geográficas y de UTM siguientes.

*Tabla 2. Ubicación geográfica del centro poblado Huacarpay*

COORDENADAS				
Geográficas		UTM - WGS 1984 – Zona 19 SUR		
Latitud	Longitud	Este	Norte	Altura (m.s.n.m.)
13°36'43.00"S	71°43'52.00"O	204476.82 mE	8493531.50 mS	3130

#### 1.1.3. Ubicación hidrográfica

Bajo el sistema hidrográfico Pfasterterter, la zona de estudio está delimitada y codificada jerárquicamente con un 5 de nivel y código 49949. Perteneciente a la cuenca Alto Urubamba.

*Tabla 3 Ubicación hidrográfica del centro poblado Huacarpay*

<b>Nivel</b>	<b>Código</b>	<b>Nombre</b>
1	4	Río Amazonas
2	49	Río Amazonas
3	499	Río Ucayali
4	4994	Río Urubamba
5	49949	Alto Urubamba

#### **1.1.4. Zonas de estudio**

En el presente proyecto de investigación se definieron 3 zonas de estudio a distintas extensiones que mantienen al centro poblado Huacarpay como punto principal y central, con el objeto de delimitar y organizar la información determinada, lo suficiente para su comprensión y análisis a escala regional y local.

1. Zona de trabajo regional: Área cuyo cuadrante noroeste (NO) cubre la parte baja del valle del río Huatanay (Cusco–Huacarpay). El margen noreste (NE) y sureste (SE) abarcan parte del valle del río Vilcanota y en el margen suroeste (SO) se encuentra la ciudad de Lucre. Todo el conjunto se ubica al SO de la ciudad de Cusco y ocupa un área rectangular de 22014.86 hectáreas y un perímetro de 62.09 kilómetros, representándose en los posteriores mapas regionales a una escala de 1:50000, enfocado siempre en el centro poblado Huacarpay por su relevancia en el objeto de estudio (zonificación geológica – geotécnica) para el presente proyecto.

Cabe mencionar que esta área delimita las zonas de estudio referente al contexto regional geomorfológico, litoestratigráfico, geológico estructural y neotectónico regional.

2. Zona de trabajo local: Ocupando la parte central de la zona de estudio regional, esta extensión abarca 125.708 hectáreas y 4639.019m de perímetro, representado y conteniendo información local a una escala de 1:5000 en los mapas locales de geomorfología, litoestratigrafía, y geología estructural. Esta área delimitada contiene

toda la extensión del centro poblado Huacarpay a una escala detallada y visible, donde se ha definido una segunda región dentro de esta, denominado “Área Huacarpay” descrito a continuación.

3. Área Huacarpay: De 25.838 hectáreas y 2485.04 metros de perímetro, se extiende sobre el poblado Huacarpay. Esta segunda delimitación permite establecer una zonificación geológica – geotécnica puntual y detallada, sin perder su relación directa con la información geológica local, del cual forma parte.

*Figura 1. Jerarquización de zonas de estudio a escala local y regional*



*Nota. Adaptado en Google Earth*

## 1.2. Accesibilidad

El centro Poblado Huacarpay se encuentra a 40 minutos de viaje en bus interprovincial, considerando como punto de partida al terminal terrestre “Cusco – Sicuani” en la ciudad de Cusco (ubicado en la Av. Huayruropata a la altura del instituto peruano del deporte “IPD”) y considerando al “paradero principal de bajada Huacarpay”, dentro de la ruta Cusco – Urcos – Sicuani. Aunque existen varios caminos alternos accesibles a dicho centro poblado, el camino de acceso principal es mediante la carretera asfaltada que forma parte de la ruta Cusco – Sicuani. Para un mejor entendimiento, véase la siguiente figura.

Figura 2. Croquis de accesibilidad al centro poblado Huacarpay



Nota. Adaptado en Google Earth

### 1.3. Aspectos geográficos

#### 1.3.1. Clima

El centro poblado Huacarpay posee una época de lluvias que es de diciembre a marzo y otra época seca durante el resto del año, alcanzando temperaturas medias mínimas de entre 8°C y 16,4°C y temperaturas medias máximas de hasta 26,1°C. Durante la época seca, el clima se caracteriza por ser frío y seco. (Choque Quispe & Montalvo Saldivar, 2012)

#### 1.3.2. Vegetación

El centro poblado Huacarpay actualmente no cuenta con estudios rigurosos en el campo de la Biología Vegetal y animal que presenten resultados convincentes. Aun así, se estima la presencia de más de 200 especies vegetales, entre ellas resaltándose: molle (*Schinus molle*), tara (*Caesalpinia spinosa*) y thaqo o algarrobo andino (*Prosopis tupayachensis*)

Por otro lado, se tiene más 140 especies de Aves, entre residentes, migratorias, ocasionales y de presencia, junto a varios mamíferos, siendo los más resaltantes: poronqoe (*Cavia tschudii*), atoq (*Lycalopex culpaeus*), achoqalla (*Mustela frenata*) y luichu (*Odocoileus peruvianus*). (Venero Gonzales, 2018)

## II. PROBLEMA

### 2.1. Formulación del problema

#### 2.1.1. Descripción del problema

Los suelos de fundación, en donde están contenidos los cimientos de viviendas y demás edificaciones del centro poblado Huacarpay, se encuentran en una capa de suelos de tipo relleno mediamente tratados con 1.5m de potencia en promedio para “mitigar” las bajas capacidades admisibles y elevados asentamientos de los suelos originarios del lugar, que componen en su mayoría, capas de suelos finos (arcillas y limos), que tienen un alto contenido de material orgánico dentro de su distribución en general por su origen Lacustre.

Dicha respuesta mitigante presentaría una mejora significativa si se tratara y se procesara de una manera correcta; sin embargo, debido a la falta de estudios geológicos y geotécnicos en el lugar, el mencionado material de relleno no es correctamente tratado, lo cual hace que dicha respuesta mitigante, aun así, sea deficiente.

A este problema se le suma el gran desconocimiento de las propiedades geológicas y geotécnicas del lugar que permitan obtener una base técnica sólida y en respuesta a ello, generar soluciones respaldadas o respuestas mitigantes eficientes a las condiciones geotécnicas desfavorables del lugar.

A la fecha actual de trabajo de investigación, el centro poblado Huacarpay presenta problemas geotécnicos considerables en sus edificaciones, resaltándose entre estos, problemas de distintos tipos de asentamientos, incluso luego de que sus pobladores hayan adoptado por la respuesta “mitigante” de cubrir los suelos originarios con material de tipo relleno meridianamente tratados. Dicho método es el más usado en la zona por ser la alternativa común que los pobladores conocen debido a la falta de estudios geológicos y geotécnicos.

Cabe mencionar que los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay no están formados por solo una capa homogénea en toda su extensión; en consecuencia, las características geológicas y parámetros geotécnicos que condicionan estos, son variables a una escala local. Por lo que no basta con hacer cálculos o estudio geológicos puntuales o solo de un punto representativo para todo el centro poblado, que es la única información disponible referente a otros estudios del lugar.

Por lo que surge la necesidad de crear un base técnica y sólida del centro poblado Huacarpay, pero a un detalle elevado, ordenado dentro de un mapeado detallado o una zonificación geotécnica que integre datos geológicos y geotécnicos del lugar.

### ***2.1.2. Planteamiento del problema general***

¿Cuál es la zonificación geotécnica que se obtiene a partir del estudio geológico y geotécnico de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?

### ***2.1.3. Planteamiento de problemas específicos***

1. ¿Cuáles son las características geomorfológicas del centro poblado Huacarpay?
2. ¿Cuáles son las características litoestratigráficas del centro poblado Huacarpay?
3. ¿Cuáles son las características geoestructurales del centro poblado Huacarpay?
4. ¿Cuál es el comportamiento y la distribución de los niveles freáticos en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?
5. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?
6. ¿Cuáles son los parámetros definen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Realizar el estudio geológico y geotécnico de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay para establecer su zonificación geotécnica

### **2.2.2. Objetivos específicos**

1. Caracterizar geomorfológicamente el centro poblado Huacarpay
2. Caracterizar litoestratigráficamente el centro poblado Huacarpay
3. Caracterizar geoestructuralmente el centro poblado Huacarpay
4. Analizar el comportamiento y distribución de niveles freáticos en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay
5. Determinar los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay
6. Establecer los parámetros geotécnicos que definen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

La zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay está fundamentado en un ambiente geológico lacustre y/o fluvial cuyas zonas geotécnicas adquieren valores de parámetros no óptimos.

### **2.3.2. Hipótesis específicas**

1. Geomorfológicamente el centro poblado Huacarpay compone de una extensa llanura lacustrina y/o fluvial de bajas pendientes rodeada de una colina volcánica al NO del centro poblado y una montaña hacia el NE.
2. Litoestratigráficamente la zona de estudio compone de depósitos lacustrinos por la presencia de la laguna Huacarpay y depósitos fluviales por la presencia del río

Huatanay. Estos están rodeados por unidades rocosas volcánicas al NO y rocas sedimentarias al NE.

3. Geoestructuralmente las unidades rocosas sedimentarias al NO del centro poblado Huacarpay son las más representativas, evidenciando eventos tectónicos compresivos (fallas inversas y pliegues) y distensivos (fallas normales), lo cual indica uno o más cambios de régimen durante su historia geológica.
4. Los niveles freáticos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay adquieren un comportamiento variable debido a que provienen de dos principales fuentes, de la laguna Huacarpay y el río Huatanay, sin mencionar los provenientes de precipitaciones pluviales que se infiltran en dichos suelos.
5. Los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación en la zona de estudio, se clasifican principalmente por parámetros de resistencia y deformación que se fundamentan en parámetros de clasificación unificada de suelos SUCS, obtenidas a través de distintos resultados de ensayos geotécnicos de campo y laboratorio.
6. Los parámetros que establecen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del área estudiado, son capacidades admisibles bajo un factor de seguridad de 3 que adoptan valores bajos (inferiores a 1 kg/cm<sup>2</sup>) y asentamientos totales elevados (superiores a 2.5cm). Dichos valores se dan debido a su origen lacustrino por la presencia de la laguna Huacarpay.

## **2.4. Justificación**

### **2.4.1. Conveniencia**

Debido a la ausencia y/o carencia de estudios geológicos-geotécnicos en el centro poblado Huacarpay, sus pobladores optaron por construir las cimentaciones de sus viviendas con métodos tradicionales que no son los más óptimos bajo las condiciones desfavorables del lugar, generando problemas geotécnicos significativos; de los cuales

resalta, asentamientos principalmente, lo que hace conveniente desarrollar una investigación que brinde una base técnica sólida para enfrentar estas deficiencias.

#### **2.4.2. Relevancia social**

El estudio beneficia directamente a los pobladores del centro poblado Huacarpay a través de un respaldo técnico que les permitirá construir viviendas y edificaciones más seguras, disminuyendo riesgos de asentamientos y demás problemas geotécnicos.

#### **2.4.3. Implicancias prácticas**

El trabajo de investigación busca resolver la falta de información técnica y problemas geotécnicos en la zona de trabajo, a través de una zonificación geotécnica.

#### **2.4.4. Valor teórico**

La zonificación geotécnica resultante del lugar servirá de referencia detallada para otros estudios de investigación y/o proyectos reales de ingeniería. Tomando así, la actual tesis, una base de conocimientos técnicos sobre el cual, se puede añadir y/o complementar información referente a otros campos derivados como ingeniería civil, ingeniería ambiental, entre otros.

#### **2.4.5. Utilidad metodológica**

El método de zonificación geotécnica, aplicado para el presente trabajo, consiste en integrar, una caracterización geológica detallada del lugar con la determinación y análisis de sus parámetros geotécnicos dentro de un modelo geológico-geomecánico tridimensional explícito, al cual se le hacen cortes transversales a distintas profundidades; estos al ser vistos en planta, toman la función de los mapas finales de zonificación. Es así como este método de zonificación se refuerza si se le compara con los métodos convencionales de zonificación (que se basan en interpolaciones), al ser un análisis interpretativo directo y abierto a más vistas horizontales y verticales.

### III. BASES TEÓRICAS

#### 3.1. Marco normativo

En este apartado se establece las disposiciones técnicas y legales aplicables a los procedimientos de los métodos ensayados en laboratorio, caracterización de suelos, determinación de parámetros de resistencia y deformación, así como criterios sísmicos; con el objeto de mostrar una garantía, confiabilidad y conformidad en los resultados.

##### 3.1.1. Ensayos de campo y laboratorio

Los ensayos de laboratorio y campo son realizados para la obtención de la caracterización físicas y mecánicas, para lo cual se siguieron las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y los estándares ASTM. Todos estos métodos están regidos de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.050 – Suelos y Cimentaciones.

*Tabla 4. Normas Técnicas Peruanas (NTP) y los estándares ASTM*

<b>Método</b>	<b>Año de publicación</b>	<b>Título de la norma</b>	<b>Código</b>
Penetrómetro Dinámico Ligero (DPL)	2001	SUELOS. Método de Ensayo Normalizado para la Auscultación con Penetrómetro Dinámico Ligero de Punta Cónica (DPL)	NTP 333.159
Identificación y Muestreo de campo	2015	SUELOS. Descripción e identificación de suelos. Procedimiento visual – manual	NTP 339.150
Humedad	2019	SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo	NTP 339.127
Granulometría	2019	SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico	NTP 339.128
Límites de consistencia	2019	SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	NTP 339.129
Corte Directo	2023	SUELOS. Prueba de Corte Directo de suelos con condiciones drenada y consolidada	ASTM D3080
Consolidación Unidimensional	2015	SUELOS. Método de ensayo normalizado para propiedades de consolidación unidimensional de suelos	NTP 339.154
Peso volumétrico	2019	SUELOS. Determinación del peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139
SUCS	2019	SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)	NTP 339.134

*Fuente. Normativa Técnicas Peruanas (NTP) y estándares ASTM*

### 3.1.2. *Parámetros de resistencia*

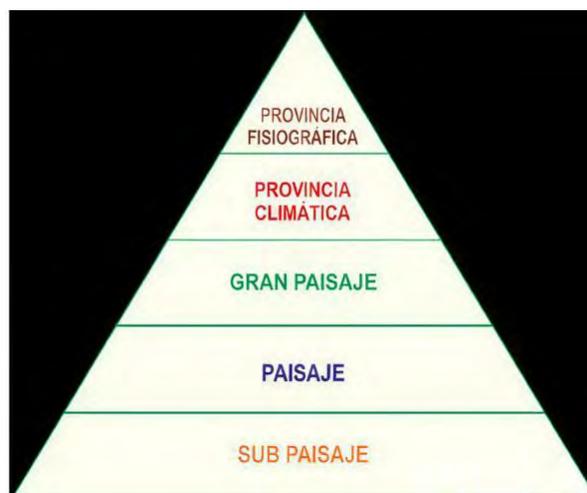
Para este ítem es importante considerar la recomendación del apartado “Art. 20 Capacidad de carga” de la RNE E.050 que menciona lo siguiente:

- En materiales cohesivos (arcillas y limos arcillosos) se desprecia la contribución por fricción ( $\phi = 0^\circ$ ), mientras que en suelos granulares (gravas y arenas) no se considera resistencia por cohesión ( $c = 0 \text{ kg/cm}^2$ ).
- La evaluación de aceleraciones sísmicas, se determina en función de la zona sísmica del área de estudio mediante la Norma E.030(RNE) – Diseño Sismoresistente.

### 3.2. **Marco teórico – conceptual**

1. Clasificación fisiográfica: La fisiografía se organiza jerárquicamente en grupos paisajísticos para describirse de forma ordenada según al nivel de detalle de relieve, basándose en características geológicas y geomorfológicas. Para el presente trabajo de investigación se consideró la metodología CIAF y MINAM que ordena 5 niveles jerárquicos los cuales son: Provincia Fisiográfica, Provincia Climática, Gran Paisaje, Paisaje y Sub Paisaje. (Gerencia Regional de Planeamiento Presupuesto y Acondicionamiento Territorial, 2012)

*Figura 3. Clasificación de niveles fisiográficos*



*Fuente. Gerencia Regional de Planeamiento Presupuesto y Acondicionamiento Territorial, 2012*

2. **Facie sedimentaria:** Término que se define como el conjunto de características litológicas, estructurales y faunísticas que distinguen a una unidad sedimentarias de otras semejantes o circundantes. Estas características incluyen su geometría, composición litológica, estructuras sedimentarias, orientación de paleocorrientes y contenido fósil. Esta agrupación de características permite una óptima identificación, correlación y diferenciación dentro de un contexto estratigráfico secuencial. (Arche, 2010).
3. **Ambiente lacustre:** Se caracteriza por la presencia de un cuerpo de agua continental cerrado, ubicado en una depresión natural sin conexión directa con el mar. En estos sistemas, la sedimentación está controlada por el ingreso de materiales transportados por corrientes fluviales que aportan sedimentos desde las zonas periféricas. En las áreas más profundas y de baja energía del lago, predomina la decantación de partículas finas, como limos y arcillas con un elevado contenido de material orgánico, que se depositan lentamente en el fondo, este entorno favorece la acumulación estratificada de sedimentos y refleja procesos tanto climáticos como hidrológicos del entorno continental (Arche, 2010).

Bajo el contexto del actual proyecto y basado en el libro “Sedimentología, Del proceso físico a la cuenca sedimentaria” de Arche A., es importante resaltar que el término “lacustre” hace referencia a todo un ambiente sedimentario compuesto de todas las unidades litológicas que lo conforman o de las que se relacionan directamente, pudiendo integrar litologías lacustrinas, proluviales, aluviales y fluviales en todo el conjunto lacustre.

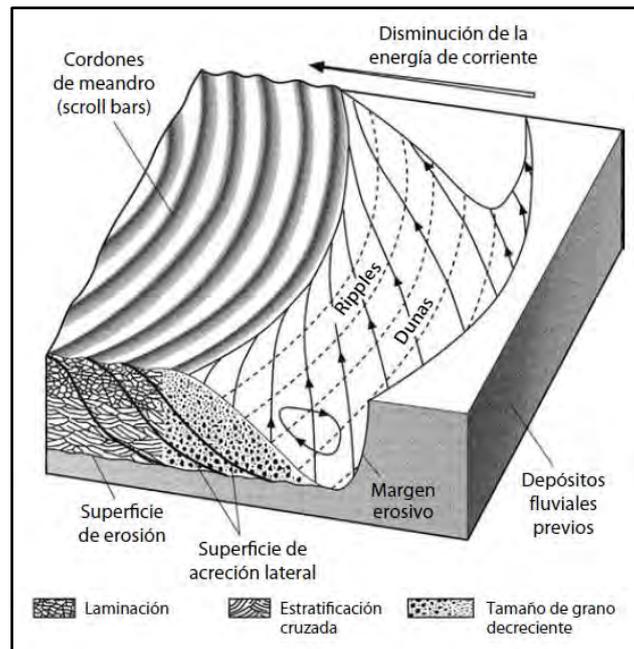
4. **Litología lacustrina:** Con fines de abarcar este concepto para el actual proyecto, podemos definir el término “lacustrino” como un adjetivo más específico a diferencia de “lacustre”; es decir, el término lacustrino hace referencia a las unidades

individuales que son parte de los depósitos lacustres, pero formados en condiciones de sedimentación, específicamente propias de lagos. Es aquí donde las litologías relacionadas a ellas como fluviales o proluviales que lo alimentan, o el aluvial que lo bordea, no toma parte de la terminología “lacustrina”.

En síntesis, el término lacustre hace referencia al ambiente sedimentario completo relacionado a lagos; en cambio, el término lacustrino hace referencia a la litología y estratificación unitaria formada, puntualmente y solo, por lagos o lagunas.

5. Litología fluvial: Sedimentos que se acumulan por la acción de corrientes de río, incluyendo estructuras como barras de canal, llanuras de inundación, abanicos aluviales y otros tipos asociados a sistemas fluviales variados como ríos trenzados, meándricos o anastomosados según su régimen de caudal, pendiente y carga sedimentaria (Will & Blackwell, 2009)
6. Ríos meandriformes: Cauces que presentan un curso sinuoso, formando meandros en su curso. Estas curvas amplias y suaves se desarrollan en zonas de pendiente suave y con materiales fácilmente erosionables, finos o medianamente finos. Donde la mayor velocidad del flujo de cauce se da en la zona cercana al borde cóncavo del canal favoreciendo su erosión y socavamiento, dejando al paso una sedimentación arenosa gravosa; mientras que, en el margen contrario con menor velocidad, se acumulan sedimentos generalmente finos como arenas o hasta limos. Todo el conjunto se caracteriza también por carga abundante sedimentaria, pero sin una dominante composición granular contrastada, como lo hacen otros tipos de depósitos fluviales. (Arche, 2010).

Figura 4. Esquema de ríos meandriiformes



Fuente. Arche, 2010

7. Calicatas de exploración: Para efectos del presente estudio, se define el término “calicatas de explotación” como un Método de exploración subsuperficial que consiste en la excavación manual o mecánica que se realiza en el terreno a examinar. Con el objeto de describir litologías, sacar muestras, realizar ensayos geotécnicos in-situ y/o cualquier otra tarea de recopilación de datos directos en campo; lo cual permite una primera identificación del estado del terreno explorado.

Estas calicatas pueden adquirir distintas profundidades que generalmente, solo alcanzan algunos metros de profundidad, que depende del estado de compacidad del suelo explorado, ya que hacerlos con una profundidad elevada conlleva a riesgos de desplome de las paredes de la calicata.

8. Modelamiento tridimensional: Bajo el contexto del presente trabajo de investigación, se define el término “modelamiento tridimensional” como una representación geoespacial y digital, mostrado en un espacio X, Y, Z; que integra información de distintas fuentes como sondajes, calicatas de exploración, perfiles geofísicos, etc, con

información referente a unidades litológicas, estructuras geológicas, niveles freáticos, dominios mineralógicos o similares.

Este tipo de modelo permite visualizar e interpretar relaciones geológicas complejas y realizar un análisis cualitativo y/o cuantitativo para apoyar la toma de decisiones en minería, hidrogeología, ingeniería geotécnica, planificación territorial, etc.

9. Neotectónica: Rama de la geología estructural que se encarga del estudio detallado de deformaciones recientes en la corteza terrestre, las cuales incluyen fallas geológicas, pliegues y desplazamientos tectónicos principalmente, que han ocurrido desde el Neógeno y durante el Cuaternario. Esta disciplina no solo analiza la naturaleza y evolución de estas estructuras tectónicas, también evalúa si aún se encuentran activas en la actualidad, lo cual tiene gran importancia para entender los procesos que continúan modelando el relieve terrestre. (Sebrier, y otros, 1982).
10. Nivel freático: Se considera nivel freático o superficie freática a la profundidad en el subsuelo en el que la presión del agua contenida en los poros del suelo o roca es igual a la presión atmosférica. Es decir, esta superficie marca el límite superior de la zona saturada dentro de un acuífero libre, donde todos los poros y fracturas del medio geológico se encuentran rellenos de agua. Esta condición hidráulica implica que el agua puede fluir libremente, y cualquier variación en las condiciones del entorno como lluvias, infiltración o extracción de agua, puede hacer que el nivel freático suba o baje.

Este concepto es fundamental para el análisis hidrogeológico, ya que permite determinar el comportamiento del acuífero, identificar riesgos de inundación o subsidencia, y evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada. (Iasiello Galasso & Guerra Torralbo, 2024).

11. Infiltración: La infiltración se refiere al proceso mediante el cual, el agua presente en la superficie del terreno penetra hacia el interior del suelo, recorriendo los poros y vacíos del material geológico. Esta descendencia de agua es impulsada principalmente por la fuerza de gravedad, que la hace fluir hacia abajo, así como por la fuerza capilar que favorece su absorción por parte de las partículas del suelo. (Custodio & Ramon LLamas, 1983)

Por otro lado, Según la clasificación basada en el IGAC (1990), los grados de infiltración se definen de la siguiente manera.

*Tabla 5 Clasificación y grados de infiltración*

<b>GRADOS DE INFILTRACIÓN</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Velocidad cm/h</b>
Muy lenta	< 0.1–0.25
Lenta	0.1–0.5 / 0.25–1.3
Moderadamente lenta	0.5–2.0
Moderada	1.3–2.0 / 2.0–6.3
Rápida	2.5–25.4 / >12.7
Muy rápida	> 25.4

*Fuente. IGAC, 1990*

12. Penetrómetro dinámico ligero (PDL): Este equipo mide la resistencia del suelo mediante la penetración de una punta cónica, permite evaluar la rigidez del suelo y además permite diferenciar la homogeneidad de las capas de suelo de acuerdo al número de golpes y enrosque de las varillas. Según Lunne et al. (1997), es útil para evaluar suelos granulares y correlaciones con SPT.

El Reglamento Nacional de Edificación E.050 establece el uso de este equipo mediante el procedimiento de la Norma Técnica Peruana NTP 339.159 (2001)

*Tabla 6 Especificaciones de equipos para ensayos DPL*

Elemento	Símbolo	Unidad	Especificaciones
<b>Martillo</b>			
Masa de martillo	<i>M</i>	kg	10 ± 0.1
Altura de caída	<i>H</i>	mm	500 ± 10
<b>Cabezal de impacto</b>			
Diámetro	<i>d</i>	mm	50 < d < D <sub>h</sub> <sup>a</sup>
Masa (máx.), incluido barra guía	<i>m</i>	kg	6
<b>Punta</b>			
Área nominal de la base	<i>A</i>	cm <sup>2</sup>	10
Diámetro de la base (nuevo)	<i>D</i>	mm	35.7 ± 0.3
Diámetro mínimo de la base (gastada)		mm	34
Longitud de camisa cilíndrica	<i>L</i>	mm	35.7 ± 1
Longitud de punta cónica		mm	17.9 ± 0.1
Desgaste máx. permisible de la punta		mm	3
<b>Barra de hincado<sup>b</sup></b>			
Masa (máx.)	<i>m</i>	kg/m	3
Diámetro exterior (máx.)	<i>d<sub>e</sub></i>	mm	22
Desviación de la barra respecto de la vertical:			
En los 5 m inferiores		%	0.1
En el resto		%	0.2
<sup>a</sup> D <sub>h</sub> : Diámetro de la masa. En caso de forma rectangular, se asume la menor dimensión como equivalente al diámetro.			
<sup>b</sup> La longitud de la barra no debe exceder de 2m.			
NOTA: Las tolerancias indicadas son respecto a la fabricación			

*Fuente. Norma ISO 22476-2, 2005*

13. Contenido de humedad: Según Lambe & Whitman (2012) en "Mecánica de Suelos", el contenido de humedad (*w*) es una medida fundamental en la mecánica de suelos, Definida como la relación entre el peso del agua presente en los poros del suelo (*W<sub>w</sub>*) y el peso de las partículas sólidas (*W<sub>s</sub>*), expresada en porcentaje:

$$w = (W_s / W_w) \times 100\%$$

Siendo determinada mediante el procedimiento de la NTP 339.127 (2019):

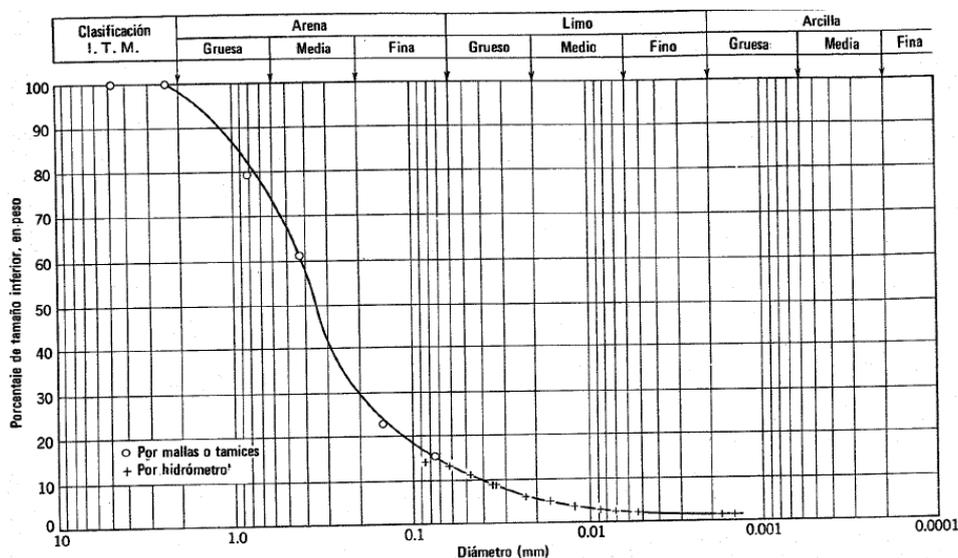
Método gravimétrico estándar para humedad.

14. Tamaño de partículas: Según Lambe & Whitman (2012) en "Mecánica de Suelos", la distribución del tamaño de partículas es un parámetro fundamental para clasificar

suelos y predecir su comportamiento ingenieril. Se representa mediante una curva granulométrica, que relaciona el diámetro de las partículas (en mm) con el porcentaje acumulado en peso de material más fino donde los suelos se dividen en fracciones según su tamaño como se indica a continuación.

- Grava ( $> 2$  mm).
- Arena (0.075–2 mm).
- Limo (0.002–0.075 mm).
- Arcilla ( $< 0.002$  mm).

*Figura 5. Método de ensayo para el análisis granulométrico*



*Fuente. Lambe & Whitman, 2012*

El procedimiento para la obtención de la curva granulométrica mostrada en la última figura se basa en la norma NTP 339.127 (2019) denominado “Método de ensayo para el análisis granulométrico”.

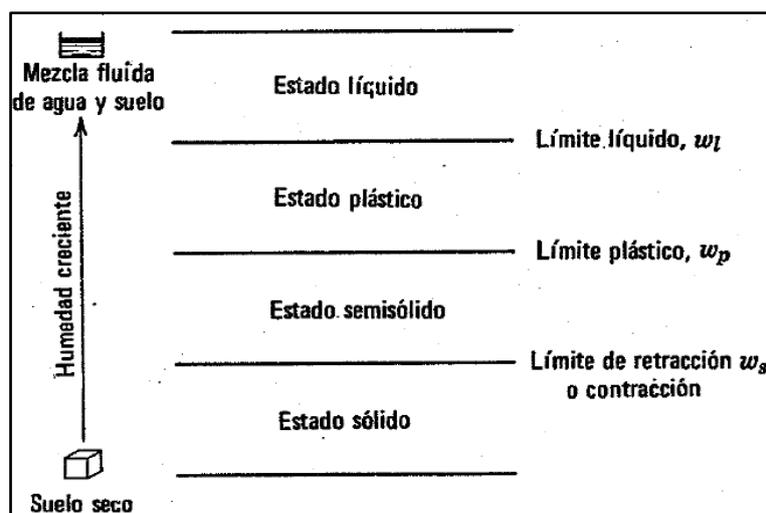
15. Límites de Atterberg: Son parámetros fundamentales en la caracterización de suelos finos (arcillas y limos), definidos en la Norma Técnica Peruana NTP 339.127. Estos límites determinan los estados de consistencia de un suelo en función de su contenido

de humedad y son ampliamente utilizados en ingeniería geotécnica para clasificar suelos y predecir su comportamiento.

- a) Límite Líquido (LL): Es el contenido de humedad (%) en el cual el suelo pasa del estado líquido al plástico. Se determina cuando una pasta de suelo, sometida a 25 golpes en el aparato de Casagrande, cierra un surco de 13 mm de longitud.
- b) Límite Plástico (LP): Es el contenido de humedad (%) más bajo en el que el suelo puede moldearse en rollos cilíndricos de 3.2 mm de diámetro sin agrietarse, marcando la transición entre los estados plástico y semisólido.
- c) Índice de Plasticidad (IP): Es el rango de humedad en el que el suelo se comporta plásticamente, calculado como:

$$IP=LL-LP$$

*Figura 6. Límites de Atterberg e índices con ellos*



*Fuente. Norma Técnica Peruana NTP 339.127*

16. Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS): El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) divide los suelos en dos categorías principales: los de grano grueso, que contienen menos del 50% de material pasante por el tamiz #200 (0.075 mm) y están compuestos principalmente por gravas (G) y arenas (S); y los de grano fino, que presentan 50% o más de material pasando el tamiz #200, incluyendo

limos (M), arcillas (C), suelos orgánicos (O) y turbas (Pt), donde la plasticidad se clasifica como baja (L) si el límite líquido es menor a 50% o alta (H) si supera este valor (Das, 2006; ASTM D2487; NTP 339.134)

Tabla 7. Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS).

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

<sup>a</sup>Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

<sup>b</sup>Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

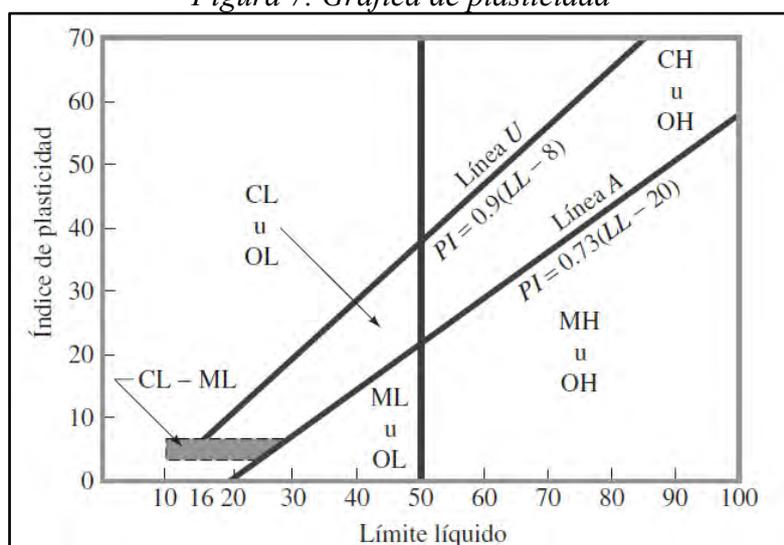
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

<sup>d</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

<sup>e</sup>Si  $4 \leq PI \leq 7$  y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente. Braja B.M., 2016

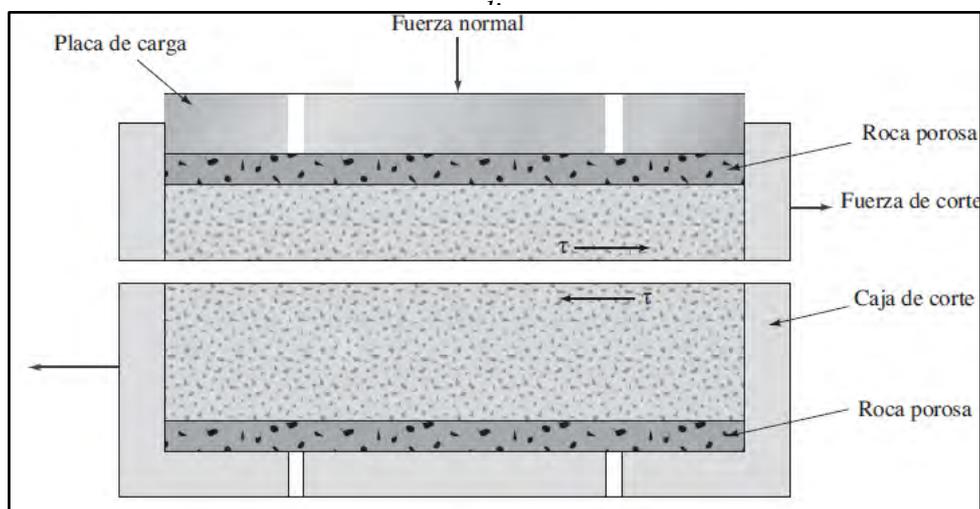
Figura 7. Gráfica de plasticidad



Fuente. Braja B.M., 2016

17. Ensayo de Corte Directo: Según Das, B.M. (2006). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, la prueba de corte directo es un método sencillo y ampliamente utilizado para determinar los parámetros de resistencia (cohesión " $c$ " y ángulo de fricción " $\phi$ "). Consiste en aplicar esfuerzos normales y cortantes a una muestra de suelo dentro de una caja dividida (Figura 8), hasta lograr su falla. Puede realizarse mediante control de esfuerzo (aplicando cargas incrementales) o control de deformación (a una velocidad constante).

Figura 8. Diagrama de la caja dividida para la prueba de corte



Fuente. Das, B.M., 2016

Este ensayo está estandarizado en la norma ASTM D3080, donde se proporciona datos clave para proyectos geotécnicos. Su correcta interpretación permite garantizar la seguridad y estabilidad de las obras civiles

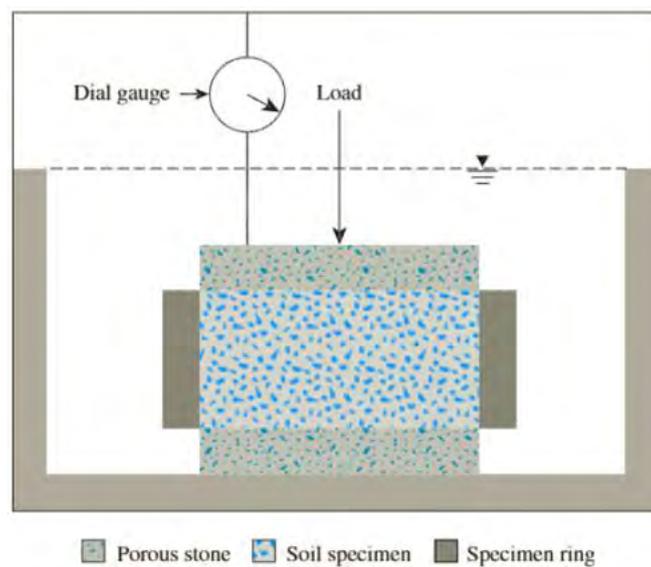
18. Ensayo de Consolidación: Este ensayo, desarrollado inicialmente por Terzaghi, es clave para entender cómo se comprimen los suelos arcillosos bajo carga. Como explica Braja Das en su libro *Geotechnical Engineering Principles* (9a edición), el test se realiza en un consolidómetro (también llamado edómetro), donde una muestra de suelo de unos 64 mm de diámetro y 25 mm de espesor se coloca entre dos piedras porosas dentro de un anillo metálico.

Durante la prueba, que puede durar varios días, se aplican cargas escalonadas (normalmente duplicando la presión cada 24 horas) mientras se mide el asentamiento con un deformímetro. El suelo permanece sumergido en agua para simular condiciones de saturación. Todo este proceso muestra tres fases claras:

- a) Compresión inicial: Arreglo rápido de partículas por compactación
- b) Consolidación primaria: Expulsión gradual del agua intersticial (lo más importante)
- c) Consolidación secundaria: Reajuste plástico de la estructura del suelo

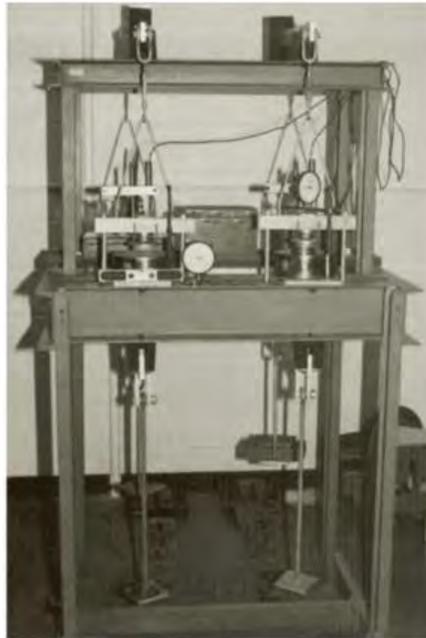
Es así como este ensayo de consolidación es fundamental para predecir asentamientos en obras sobre arcillas.

*Figura 9. Ensamblado del espécimen en el equipo de consolidación unidimensional*



*Fuente. Das, B. M., & Khaled, S., 2016*

*Figura 10. equipo de consolidación unidimensional*



*Fuente. Das, B. M., & Khaled, S., 2016*

19. Asentamientos: Cuando se agrega cargas sobre un terreno, el suelo se comprime, pero no todos lo hacen igual. Como explica Braja Das en su manual *Geotechnical Engineering Principles* (9a ed.), este fenómeno es crucial para predecir cuánta magnitud de asentamiento se producirá en un edificio con el tiempo. Estos asentamientos se dividen en tres principales tipos que son:

- a) Asentamiento elástico ( $S_e$ ): Ocurre al instante, como cuando se pisa arena mojada y se deja una huella. Es reversible y se calcula con teorías elásticas.
- b) Consolidación primaria ( $S_c$ ): El más importante en arcillas. El agua sale lentamente de los poros (como exprimir una esponja), causando un hundimiento progresivo que puede durar años.
- c) Consolidación secundaria ( $S_s$ ): Ajuste plástico del esqueleto del suelo cuando ya no sale más agua. Es clave en suelos orgánicos o turbas.

**Ecuación clave:**

$$S_T = S_e + S_c + S_s$$

Donde:

$S_T$  : es el hundimiento total

$S_e$  : Asentamiento elástico

$S_c$  : Asentamiento por consolidación primaria

$S_s$  : Asentamiento por consolidación secundaria

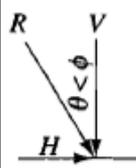
20. Capacidad de Carga en suelos de fundación: Cuando diseñamos cimentaciones, uno de los mayores desafíos es asegurar que el suelo pueda soportar las cargas sin fallar por corte ni generar asentamientos excesivos. Como explica Bowles en *Foundation Analysis and Design*, aunque los colapsos por falla de corte son raros hoy en día, los asentamientos diferenciales siguen siendo la principal causa de problemas estructurales, como grietas en muros o puertas que no cierran bien. Existen dos modos principales de falla, donde a continuación se detallan usando como modelo una zapata de cimentación.

- a) Rotación: La zapata gira alrededor de un eje, movilizandó la resistencia al corte en una superficie curva.
- b) Punzonamiento: El suelo bajo la zapata cede formando una cuña triangular, típico en suelos blandos.

Por otro lado, Meyerhof mejoró las fórmulas clásicas de Terzaghi durante 1951 y 1963, incorporando factores de forma ( $s_q$ ), profundidad ( $d_i$ ) e inclinación de carga ( $i_i$ ). Su ecuación general es:

Figura 11. Ecuación de capacidad de carga según Meyerhof

Factors	Value	For
Shape:	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	Any $\phi$
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$\phi > 10^\circ$
	$s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Depth:	$d_c = 1 + 0.2 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	Any $\phi$
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$\phi > 10$
	$d_q = d_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Inclination:	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	Any $\phi$
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$	$\phi > 0$
	$i_\gamma = 0$ for $\theta > 0$	$\phi = 0$



Where  $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$  as in Fig. 4-2  
 $\theta$  = angle of resultant  $R$  measured from vertical without a sign; if  $\theta = 0$  all  $i_i = 1.0$ .  
 $B, L, D$  = previously defined

Vertical load:	$q_{ult} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$
Inclined load:	$q_{ult} = cN_c d_c i_c + \bar{q}N_q d_q i_q + 0.5\gamma B' N_\gamma d_\gamma i_\gamma$
	$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
	$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$
	$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$

Fuente. Bowles, J. E., 1996

### 3.3. Marco referencial

#### 3.3.1. Antecedentes internacionales

1. Antecedente 2: (Flores L.I., 2000), realizo la tesis de título “Contribución a la zonificación Geotécnica de la Zona Sur de la Cuenca de México” Universidad Nacional Autónoma de México. La tesis concluye que el estudio realizado mostrará una actualización del mapa de zonificación geotécnica del subsuelo de la región Sur del Distrito Federal de la Ciudad de México además servirá como información preliminar para futuras construcciones. En esta zonificación se identificaron tres zonas geotécnicas: la Zona I, compuesta por derrames lávicos, gravas, limos y arcillas;

la Zona II, formada por un abanico aluvial con intercalaciones de arcillas lacustres; y la Zona III, dominada por arcillas lacustres con lentes de arenas y limos.

El aporte de esta tesis proporciona metodologías para la obtención de una zonificación geotécnica el cual es aplicado para el Área Huacarpay. Esta metodología considera la correlación estratigráfica de sondeos estándar para caracterizar y analizar las zonas identificadas (Zona I, II y III). Dicha metodología nos sirvió para la elaboración de cortes litoestratigráficos y geotécnicos para su posterior zonificación geotécnica más precisa.

### ***3.3.2. Antecedentes nacionales***

1. Antecedente 2: (Carlotto V., Cárdenas J. & Carlier G., 2011) en su Boletín Serie A, titulado “Geología del Cuadrángulo de Cusco”, INGEMMET. Este estudio da a conocer aspectos regionales de los cuatro cuadrantes a escala 1:50,000 de la hoja 28s. El estudio reconoció unidades geomorfológicas, geológicas, afloramientos de rocas ígneas y dominios estructurales. En cuanto a las unidades morfoestructurales los divide en: Cordillera Oriental, zona intermedia Altiplano-Cordillera Oriental, Altiplano y borde noreste de la Cordillera Occidental; además se detallan unidades locales que se encuentran dentro de las unidades regionales. En cuanto a la geología, en la Cordillera Oriental y en el Altiplano afloran rocas de las formaciones Ananea, Grupo Cobacabana, Formación Ene, Grupo Mitu, Formación Huambutío, Formación Huancané, Grupo Yuncaypata, Grupo San Jerónimo, Formación Punacancha, Formación Paccaritambo, Formación Paruro y Depósitos Cuaternarios. En el borde noreste de la Cordillera Occidental afloran rocas de la Formación Soraya, Formación Ferrobamba, Formación Anta y el Grupo Tacaza. Su edad de las formaciones varía desde el Silurico-Devonico hasta el Cuaternario. También se incluyen mapas

geológicos, geomorfológicos, estructurales, neotectónicos de dominios tectónicos, metalogenético e hidrogeológico.

La referencia aporta en la descripción regional geomorfológica, litoestratigráfica y estructural de la zona regional de trabajo; toda esta información fue usado como contexto regional y base para determinar la caracterización geológica local del centro poblado Huacarpay.

### **3.3.3. Antecedentes locales**

1. Antecedente 1: Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) mayo del 2011, elabora el informe “Mapa de Peligros y Medidas de Mitigación ante desastres, Ciudad de Lucre-Huacarpay”, concluye que el área de Huacarpay presenta suelos de baja capacidad portante, el cual están compuestos de gravas mal graduadas, gravas arcillosas y, en zonas de ambiente lacustre, arcillas inorgánicas de baja plasticidad. Estos suelos arcillosos son aptos para construcciones ligeras de un solo piso; para estructuras mayores se requiere de un diseño de cimentación especializada con una profundidad mínima de 1.00m. Además, la zona está expuesta a peligros naturales como erosión regresiva, inundaciones por ríos de Lucre, Huatanay y desbordes de laguna

La referencia aporta al proyecto de investigación en el análisis de parámetros de capacidad admisible de los suelos. Los resultados de este estudio, reportan capacidades portantes desde 0.88 a 1.10 kg/cm<sup>2</sup> para arcillas orgánicas y los suelos fluvio-aluviales del río Huatanay y Lucre.

## IV. MARCO METODOLÓGICO

### 4.1. Método de investigación

#### 4.1.1. *Enfoque mixto*

Según Sampieri et al. (2014). El enfoque de investigación mixta combina lo cuantitativo y cualitativo para complementar información y obtener una visión más completa del fenómeno. Es por ello que el trabajo de investigación es del mencionado enfoque debido a que se definen y determinan características geológicas y parámetros geotécnicos para calcular datos numéricos de capacidades portantes y asentamientos. Para luego analizar, inducir y deducir criterios e interpretaciones sobre los datos obtenidos

#### 4.1.2. *Tipo aplicado*

Una investigación es de tipo aplicado cuando se orienta a generar conocimiento útil para solucionar problemas o necesidades concretas en la práctica. (Sampieri et al., 2014). Dicho tipo se aplica al presente estudio ya que se usan estos conocimientos y teorías como base para aplicarlos en provecho al centro poblado Huacarpay.

#### 4.1.3. *Diseño no experimental*

La investigación que estudia fenómenos tal como ocurren, sin manipular variables, describiendo y analizando sus relaciones; adquieren un diseño no experimental (Sampieri et al. 2014). La actual investigación adquiere este diseño ya que no se manipulan sus variables para conseguir distintos resultados, solo se describen y caracterizan observándolas en su ambiente natural; así mismo, toma una Secuencia Transversal porque se recolectan datos existentes y/o calculados para describir variables y analizar su relación en un solo momento

#### **4.1.4. Nivel correlacional**

De acuerdo con Sampieri et al. (2014), el nivel de investigación correlacional está dentro del diseño no experimental. Este nivel busca conocer el grado de asociación entre dos o más variables, no implica causalidad, solo mide si existe relación y en qué magnitud.

La presente investigación es del mencionado nivel por la relación existente entre geología y geotecnia con capacidades portantes y asentamientos elásticos, ya que las condiciones geológicas y geotécnicas influyen directamente en los cálculos de capacidades portantes y asentamientos.

### **4.2. Metodología de trabajo**

#### **4.2.1. Etapa de precampo**

En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

1. Observación del problema.
2. Recolección y revisión de bibliografía y antecedentes de investigación referentes al tema de interés.
3. Determinación de tema de investigación, así como del área de interés.
4. Redacción del problema, justificación, hipótesis, objetivos, variables y metodología de investigación.
5. Planificación, delimitación de la zona de estudio y prospección de puntos de exploración.
6. Elaboración de planos base de topografía, geología y geomorfología mediante imágenes satelitales (fotointerpretación).
7. Elaboración de rutas y puntos de investigación para la realización de las actividades de campo.

#### **4.2.2. Etapa de campo**

Las siguientes etapas se ejecutaron en diversas salidas de campo a la zona de estudio local.

1. Salidas de campo I: En esta primera etapa de campo se realizó el reconocimiento y exploración de la zona de interés, para una posterior ubicación de puntos de exploración para la ejecución de calicatas de exploración con los permisos correspondientes. Definiendo un área específico y determinado para su zonificación geotécnica posterior (Área Huacarpay), Además de buscar evidencias de problemas geotécnicos de asentamientos.
2. Salidas de campo II: A través de varias salidas de campo, se realizó un mapeo y exploración geomorfológica, litoestratigráfica, geoestructural, hidrológica e hidrogeológica a la escala local en base a un contexto regional estudiado.
3. Salida de campo III: Etapa donde se ejecutó la excavación de las calicatas de exploración, anteriormente proyectadas, para su descripción estratigráfica detallada, ensayos de penetración dinámica ligera PDL, niveles freáticos y obtención de muestras representativas para ser procesados en laboratorio para sus respectivos ensayos geotécnicos.
4. Salidas de campo IV: Salidas de campo para cubrir datos faltantes o nuevos que surgieron luego de procesar la información extraída en las anteriores etapas de campo, hasta culminar el trabajo de tesis en su totalidad.

#### **4.2.3. Etapa de postcampo**

1. Etapa de laboratorio (ensayos geotécnicos): Se realizaron ensayos de laboratorio siguiendo las normas del NTP y ASTM, como contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, pesos volumétricos, pesos unitarios, clasificación SUCS, Corte Directo, y Consolidación.

2. Etapa de procesamiento y análisis de resultados: En esta etapa se procesan todos los datos obtenidos en campo y laboratorio.

Se determinaron, analizaron e interpretaron características geológicas en base a todo el mapeado local de campo y un amplio contexto bibliográfico regional con el que se llegó a un primer modelo litoestratigráfico 3D. Tomando a dicho modelo como base, se definió un segundo modelo geológico – geotécnico como resultado de añadir información geoestructural, hidrológica, hidrogeológica y parámetros geotécnicos más influyentes.

De dicho modelo se tomaron dos superficies de zonificación a 2.50m y 3.50m de profundidad con respecto al nivel de relieve; con el objeto de definir dos mapas de zonificación geotécnica, cada una a dichas profundidades.

3. Etapa de redacción de tesis: Redacción ordenada y estructurada de toda la información obtenida en el proyecto.

#### **4.3. Técnicas y equipos de recolección de datos**

1. Mapas base, imágenes satelitales y formatos para permisos de terrenos privados en campo.
2. Materiales para mapeado: Brújula, GPS navegador, picota, lupa, rayador, escalímetro, protactor, ácido clorhídrico, flexómetro de mano, tableros, lápices de colores.
3. Equipo de protección personal: Cascos, chalecos, guantes, zapatos de ingeniero, ponchos de lluvia.
4. Materiales para ensayos hidrológicos y geotécnicos: Pizarra plumones, bolsas de muestra, valdes de agua.
5. Instrumentación: GPS diferencial, infiltrómetro y accesorios, equipo de auscultación PDL, equipamiento completo de equipos de laboratorio geotécnico.

6. Equipos de laboratorio: Balanza de precisión, horno de secado, juego de tamices, corte directo, copa de Casagrande, vidrio medilado, equipo de consolidación.
7. Softwares: Microsoft office, ArcGIS Pro, Autodesk Civil 3D, Leapfrog Geo, Geostru Loadcap, Settle 3D.

#### **4.4. Limitaciones de investigación**

1. En diversos puntos del Área Huacarpay no es posible el acceso, por la inexistencia de rutas que permitan la entrada de maquinaria excavadora usada para la apertura de calicatas de exploración. Así como lugares lotizados cuyos propietarios no pudieron ser hallados luego de varios intentos para los permisos correspondientes.
2. Los recursos económicos ajustados limitan la posibilidad de utilizar equipos costosos como el uso de cortes triaxiales para determinar parámetros geotécnicos; no obstante, se vio la manera de subsanarlo.
3. La ejecución de sondeos eléctricos verticales (SEV) son bastante frecuentes en proyectos de zonificación geotécnica ya que permiten conocer vistas subsuperficiales de relieve distinguiendo, principalmente, unidades litológicas de agua en base a resistencias eléctricas. Este aporte no es muy significativo en el presente proyecto de investigación debido a los suelos finos bastante similares entre sí y niveles freáticos variables en la zona de estudio, además de requerir varios tramos horizontales SEV superiores a 300 metros para tener una considerable relevancia en el proyecto de investigación, lo cual tiene un elevado costo económico.
4. Por otro lado, los ensayos MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), utiliza ondas superficiales (Rayleigh) para obtener perfiles litológicos subsuperficiales en base a velocidades de onda de corte ( $V_s$ ) en el subsuelo. Sin embargo, para que estos datos tengan un grado considerable de acierto, necesitan ser aplicados en una distribución vertical con profundidades de al menos 30m; además de generar

resultados en base a su rigidez/susceptibilidad sísmica siendo estas, roca sana (S0), roca fracturada (S1), suelos intermedios (S2), suelos blandos (S3) y condiciones excepcionales (S4). Lo cual no aporta el grado de detalle óptimo para el contexto de trabajo realizado, al no mostrar diferencias entre tipos de suelos granulares o finos.

5. El CP Huacarpay posee trágicos antecedentes de inundación producto de desbordes del río Huatanay y aumento de nivel de base de la laguna Huacarpay. Lo cual amerita que tenga su propio estudio Hidrológico y/o Hidrogeológico; sin embargo, esta evaluación hidrológica es un completo campo de investigación y en la mayoría de otros casos, no tiene un aporte significativo en proyectos de zonificación geotécnica.

Por lo que, para la presente tesis de investigación, se omite hacer un estudio completo hidrológico, pero tratándose del CP Huacarpay, se da un alcance sobre la forma, correlación e interpretación de niveles freáticos hallados en campo, con el objeto de añadir dicha interpretación en el caracterizado geológico conjunto.

#### **4.5. Variables de estudio**

A continuación, se muestra la relación, clasificación y subclasificación de las variables de estudio. Siendo la zonificación geotécnica el objeto de estudio final y principal variable de investigación que está relacionada a las variables asociadas de estudio geológico y geotécnico a través de una caracterización geológica y parámetros geotécnicos respectivamente.

El estudio geológico referente a este trabajo de tesis, aporta con una caracterización geológica para, en base a ella y con la suma de un estudio geotécnico, realizar una zonificación geotécnica final.

Es importante aclarar que dicha caracterización geológica es producto de integrar información referente a los capítulos de geomorfología, litoestratigrafía, geología estructural y análisis de niveles freáticos. Así mismo, el estudio geotécnico compone de

la determinación de parámetros geotécnicos y su análisis para establecer los parámetros que definen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay.

Toda esta derivación e integración se muestra en la siguiente tabla de operacionalización de variables a continuación.

*Tabla 8. Cuadro de sistematización de variables*

<b>Variable principal</b>	<b>Variables asociadas</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
Zonificación geotécnica	Estudio geológico (Caracterización geológica)	Geomorfología	Topografía
			Geoformas
		Litoestratigrafía	Litología
			Estratigrafía
			Perfiles litoestratigráficos
			Modelo litoestratigráfico 3D
		Geología estructural	Estructuras preexistentes
			Neotectónica
		Análisis de nivel freático	Nivel freático
	Infiltración		
	Estudio geotécnico (Parámetros geotécnicos)	Ensayos geotécnicos	PDL (nro. de golpes, para posterior correlación con SPT)
			humedad natural (%)
			Análisis granulométrico
			Límite líquido (% de humedad a 25 golpes)
			Límite plástico (% de humedad)
			Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
			Corte directo
		Parámetros geotécnicos	Consolidación
			Parámetros de clasificación unificada de suelos SUCS
Parámetros de resistencia			
Análisis de parámetros geotécnicos	Parámetros de deformación		
	Cálculo de capacidades admisibles		
		Cálculos de asentamientos	

4.6. Matriz de consistencia

Tabla 9. Matriz de consistencia

"ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOTECNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACION DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACION GEOTECNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024"				MÉTODO DE INVESTIGACIÓN
BASES TEORICAS	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	GENERAL
M. NORMATIVO	GENERAL	GENERAL	GENERAL	
<p>1. Normas Técnicas Peruanas (NTP) y estándares ASTM</p> <p>2. Art. 20 Capacidad de carga" de la RNE E.050</p>	<p>¿Cuál es la zonificación geotécnica que se obtiene a partir del estudio geológico y geotécnico de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?</p>	<p>Realizar el estudio geológico y geotécnico de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay para establecer su zonificación geotécnica.</p>	<p>La zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay está fundamentado en un ambiente geológico lacustre y/o fluvial cuyas zonas geotécnicas adquieren valores de parámetros no óptimos.</p>	<p>1. Enfoque: mixto</p> <p>2. Tipo: aplicada o tecnológica</p> <p>3. Diseño: no experimental-transversal</p> <p>4. Nivel: correlacional</p>
<p>M. TEÓRICO-CONCEPTUAL</p> <p>Fisiografía y relieve, Geomorfología, Estratigrafía, Sondéo eléctrico vertical, Geología, Litología, Geología estructural, Hidrología, Parámetros geotécnicos, Capacidad portante, Asentamientos elásticos.</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>1. ¿Cuáles son las características geomorfológicas del centro poblado Huacarpay?</p> <p>2. ¿Cuáles son las características litostratigráficas del centro poblado Huacarpay?</p> <p>3. ¿Cuáles son las características geos estructurales del centro poblado Huacarpay?</p> <p>4. ¿Cuál es el comportamiento y la distribución de los niveles freáticos en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?</p> <p>5. ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?</p> <p>6. ¿Cuáles son los parámetros que definen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>1. Caracterizar geomorfológicamente el centro poblado Huacarpay</p> <p>2. Caracterizar litostratigráficamente el centro poblado Huacarpay</p> <p>3. Caracterizar geos estructuralmente el centro poblado Huacarpay</p> <p>4. Analizar el comportamiento y distribución de niveles freáticos en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay</p> <p>5. Determinar los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay</p> <p>6. Establecer los parámetros geotécnicos que definen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay</p>	<p>ESPECÍFICAS</p> <p>1. Geomorfológicamente el centro poblado Huacarpay compone de una extensa llanura lacustrina y/o fluvial de bajas pendientes rodeada de una colina volcánica al NO del centro poblado y una montaña hacia el NE.</p> <p>2. Litoestratigráficamente la zona de estudio compone de depósitos lacustrinos por la presencia de la laguna Huacarpay y depósitos fluviales por la presencia del río Huatanay. Estos están rodeados por unidades rocosas volcánicas al NO y rocas sedimentarias al NE.</p> <p>3. Geos estructuralmente las unidades rocosas sedimentarias al NO del centro poblado Huacarpay son las más representativas, evidenciando eventos tectónicos compresivos (fallas inversas y pliegues) y distensivos (fallas normales), lo cual indica uno o más cambios de régimen durante su historia geológica.</p> <p>4. Los niveles freáticos de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay adquieren un comportamiento variable debido a que provienen de dos principales fuentes, de la laguna Huacarpay y el río Huatanay, sin mencionar los provenientes de precipitaciones pluviales que se infiltran en dichos suelos.</p> <p>5. Los parámetros geotécnicos de los suelos de fundación en la zona de estudio, se clasifican principalmente por parámetros de resistencia y asentamientos que se fundamentan en parámetros de clasificación unificada de suelos SUCS, obtenidas a través de distintos resultados de ensayos geotécnicos de campo y laboratorio.</p> <p>6. Los parámetros que establecen la zonificación geotécnica de los suelos de fundación del área estudiado, son capacidades admisibles bajo un factor de seguridad de 3 que adoptan valores bajos (inferiores a 1 kg/cm<sup>2</sup>) y asentamientos totales elevados (superiores a 2.5cm). Dichos valores se dan debido a su origen lacustrino por la presencia de la laguna Huacarpay.</p>	
<p>M. REFERENCIAL</p> <p>1. Contribución a la zonificación Geotécnica de la Zona Sur de la Cuenca de México</p> <p>2. Geología del Cuadrángulo de Cusco Hoja 28-S, Serie A, de la Carta Geológica Nacional</p> <p>3. Mapa de Peligros y Medidas de Mitigación ante desastres, Ciudad de Lucre-Huacarpay</p>				

## V. GEOMORFOLOGÍA

### 5.1. Contexto geomorfológico regional

#### 5.1.1. Topografía y relieve

El área de estudio se sitúa en la parte baja del valle del río Huatanay (conocido también como “Angostura Cusco – Huacarpay”), al suroeste de la ciudad de Cusco; que está rodeado por dos sierras montañosas paralelas y expuestas a frecuentes procesos erosivos que generan sus fondos de valle con presencia de algunas colinas en medio. Todo el conjunto presenta una dirección andina NO-SE que se desvía al NE en su tramo final, de Huacarpay hacia Huambutío.

Estos relieves presentan altitudes que van desde los 3075 a 4500 msnm que, al ser visualizadas en curvas de nivel y en conjunto, tienden a formar todos los elementos mencionados en la parte superior de este apartado, con quebradas perpendiculares al valle del río Huatanay, Para un mejor entendimiento ver (mapa G1-1).

#### 5.1.2. Unidades geomorfológicas

Según el Boletín Nro. 138 serie A” de INGEMMET, la zona de estudio regional está dividida en 3 dominios morfoestructurales regionales originados directamente por sus regiones geológicas estructurales.

Formando una zona de “Cordillera Oriental” dominado por un relieve montañoso dentado en el margen derecho superior de la zona de estudio, otra extensión de textura medianamente uniforme denominado “Altiplano” en el margen opuesto al anterior, y una tercera extensión intermedia entre estos dos denominada “Zona Intermedia Altiplano – Cordillera Oriental”; este último con estructuras geológicas ampliamente irregulares que producen relieves irregulares y sin un patrón claro.

Estos dominios morfoestructurales regionales se subdividen en unidades de menor extensión (mapa G1-3); variando según a su litología, tipo de depósito (roca o suelo) y ubicación espacial referente a su contorno, como se observa en la tabla a continuación.

*Tabla 10. Unidades geomorfológicas regionales*

Unidades geomorfológicas		Área	
		(ha)	(%)
Fondos de valle	Bf / Bofedales	560.12	2.54%
	R / Cauce del río	1125.31	5.11%
Colinas	Co-S / Colina en roca sedimentaria	73.21	0.33%
	Co-V / Colina en roca volcánica	921.59	4.18%
Montañas	Mo-S / Montaña en roca sedimentaria	7202.77	32.69%
	Mo-V / Montaña en roca volcánica	566.6	2.57%
	Mo-VS / Montaña en roca volcano-sedimentaria	811.61	3.68%
	ME-S / Montaña estructural en roca sedimentaria	5609.83	25.46%
Vertientes	D / Vertiente con depósito de deslizamiento	1665.62	7.56%
	GIF1 / Vertiente glacio-fluvial	120.29	0.55%
	Al / Vertiente o piedemonte aluvial	508.55	2.31%
	AlTo / Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	1682.2	7.63%
	CoDe / Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	1187.88	5.39%

## 5.2. Geomorfología local

### 5.2.1. Topografía y relieve

El área de estudio local presenta alturas que van desde los 3110 hasta los 3275 msnm simbolizadas en curvas de nivel a cada 5 metros de detalle; que, en conjunto configuran un área extensamente llana rodeado de una ladera de montaña al Este del área Huacarpay y una colina baja al NO.

Es importante mencionar que la topografía descrita corresponde a la “zona de estudio local” cuya información fue extraída del geoservidor EARTHDATA - NASA (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) y posteriormente tratado para mejorar su precisión.

Sin embargo, para el “Área Huacarpay” se tomó una topografía diferente, interpolada a partir de las alturas de las calicatas de exploración extraídas con lecturas rápidas de  $\pm 10$ cm de precisión de GPS diferencial, con el objeto de ser usados para la

interpolación de una superficie de relieve, usado como base en el modelamiento tridimensional litoestratigráfico a desarrollar en los próximos capítulos.

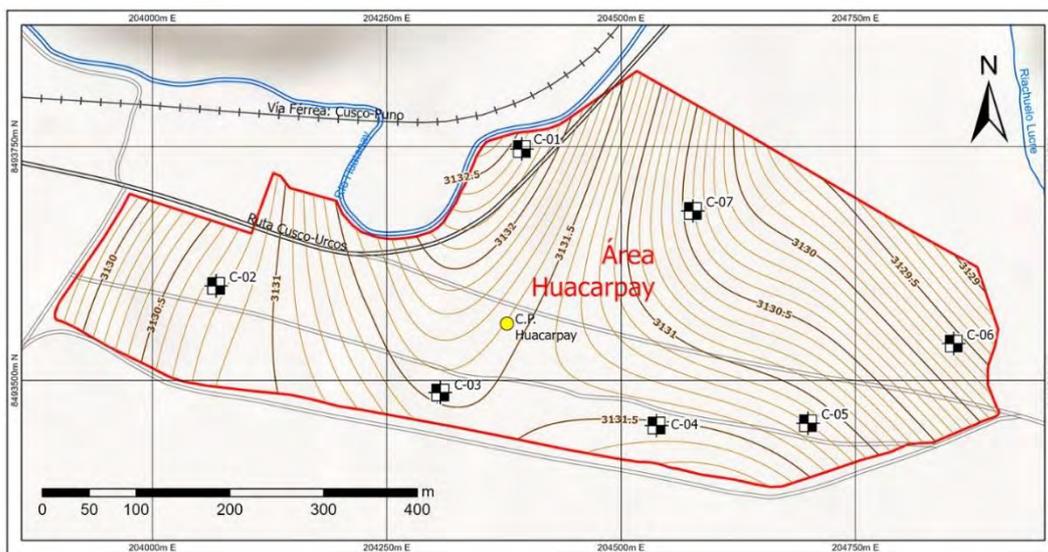
*Tabla 11. Ubicación UTM de calicatas de exploración*

<b>Coordenadas de puntos de exploración</b>			
<b>Calicata</b>	<b>E (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>Z (m.s.n.m)</b>
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41

El uso de dicho equipo topográfico fue utilizado para tener una base de lecturas con buena precisión y confiabilidad para; en base a ella, proyectar altitudes (m.s.n.m.) a la litoestratigrafía de los suelos superficiales de fundación del centro poblado Huacarpay y evitar una cadena de errores acumulativos en dichas lecturas en el contexto de toda el área de estudio principal (área Huacarpay).

Por otro lado, para la escala técnica del presente proyecto, determinar una superficie topográfica detallada con estación total o varios puntos leídos con GPS diferencial, en lugar de solo 7 como se hizo, es un trabajo bastante laborioso y no muy provechoso para el objeto de estudio; debido a que el centro poblado Huacarpay se encuentra en constante modificación y desarrollo, por lo que la infraestructura actual dificulta considerablemente dicho trabajo, sin considerar el alto costo y tiempo que esto demandaría. Es por ello que se ha optado por generar una superficie topográfica “suavizada” y general, interpolada con 7 coordenadas (coordenadas de calicatas exploración leídas con GPS diferencial) considerando un relieve sin dicha infraestructura, encontrando así un punto de equilibrio entre precisión, trabajo, costo y confiabilidad de datos.

Figura 12. Ubicación de calicatas de exploración en la zona de estudio local.



Nota. La figura muestra las curvas de nivel “suavizadas” en el Área Huacarpay

### 5.2.2. Unidades geomorfológicas

Según el contexto geomorfológico regional, se puede ver que la zona local de estudio se encuentra entre el límite de las unidades morfoestructurales regionales Altiplano y Zona Intermedia Altiplano – Cordillera oriental. Evidenciando una irregularidad física y caótica de relieve entre ambas. En la zona intermedia expresado a través de una montaña baja sedimentaria y estructural al Este del centro poblado Huacarpay; en contraparte, al NO se observa una colina volcánica baja. Esta diferencia de texturas evidencia que ambas unidades rocosas son cuerpos contrastados físicamente dando un indicio de irregularidad de relieve en un espacio no muy amplio. Estas unidades rocosas rodean depósitos de fondos de valle. Todo el grupo se describe detalladamente a continuación.

- Montaña media: Ubicado al Este del centro poblado Huacarpay compone de 2 las siguientes unidades.
  - a) Vertiente de montaña baja estructural (Vmb-SeEs): Esta ladera de montaña sedimentaria se encuentra fuertemente tectonizada evidenciada a través de varias estructuras geológicas que son las que permiten, a dicho flanco montañoso, adquirir

elevadas inclinaciones y pendientes variables. Esta unidad se extiende sobre 62164.24 m<sup>2</sup>, ocupando un 5.12% del área local de estudio.

*Fotografía 1. Vertiente de montaña baja estructural (Vmb-SeEs)*



- b) Pie de monte coluvial (Pmb-Co): Franja estrecha de suelos granulares con poco material fino que se extienden a los pies de la última geoforma descrita, formando relieves moderadamente a fuertemente inclinados, ocupando un 0.12% de la zona de estudio local a través de 1476.44 m<sup>2</sup> de área.

*Fotografía 2. Pie de monte coluvial (Pmb-Co)*



- Colina: Ubicado al NO del centro poblado Huacarpay, posee una composición volcánica que forma una suave ondulación de terreno, compone de las 2 siguientes subunidades.
  - a) Cima de colina baja volcánica (Ccb-Vo): Extensión de 17637.95 m<sup>2</sup>, representa el 1.45% de la zona local de estudio. Es aquí donde actualmente yace las ruinas

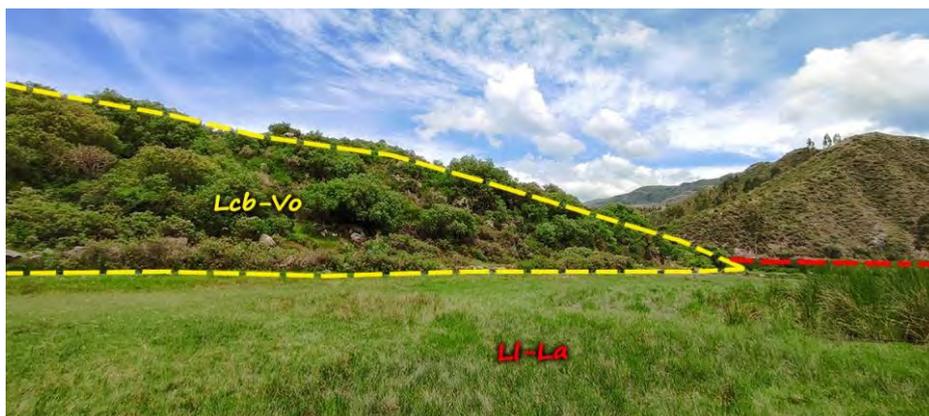
Urpicancha como parte del parque arqueológico Pikillaqta; en consecuencia, el material cuaternario en esta zona se vio modificado entrópicamente, pero sin introducir depósitos externos al lugar, siendo las mismas rocas volcánicas del lugar las que fueron utilizadas para su construcción.

*Fotografía 3. Cima de colina baja volcánica (Ccb-Vo)*



- b) Ladera de colina baja volcánica (Lcb-Vo): Laderas inclinadas a empinadas de colina baja, cubren una extensión de 59672.38 m<sup>2</sup> ocupando un 4.92% de la zona de trabajo local. Litológicamente compone de suelos limosos de baja potencia en su mayoría con algunos cantos rodados.

*Fotografía 4. Ladera de colina baja volcánica (Lcb-Vo)*



- Llanuras: Cubren gran parte de la zona de estudio local, ocupando el complemento de relieve a las unidades anteriormente descritas. Se subclasifica en las siguientes unidades.

- a) Llanura lacustrina (Ll-La): Llanura plana o de bajas inclinaciones de depósitos finos con alto contenido de material orgánico dentro de su distribución en general, debido a la existencia de la laguna y humedal Huacarpay, esta unidad posee varias depresiones abruptas pequeña de algunos metros cuadrados producto de estancamientos de agua. Todo el conjunto se extiende sobre 429421.95 m<sup>2</sup> ocupando el 35.38% de la zona local de trabajo.

*Fotografía 5. Llanura lacustrina (Ll-La)*



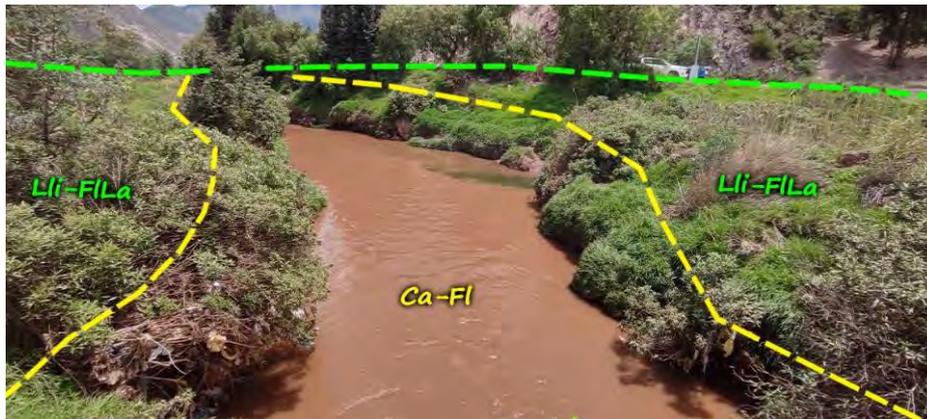
- b) Llanura de inundación Fluviolacustrina (Lli-FiLa): Esta unidad posee las mismas características que la llanura lacustrina (Ll-La) con la diferencia de su composición lacustrina combinada con depósitos fluviales de llanura de inundación procedentes del río Huatanay. Ocupa un área de 289994.83 m<sup>2</sup>, extendiéndose sobre el 23.89% de la zona de estudio local.

*Fotografía 6. Llanura de inundación Fluviolacustrina (Lli-FiLa)*



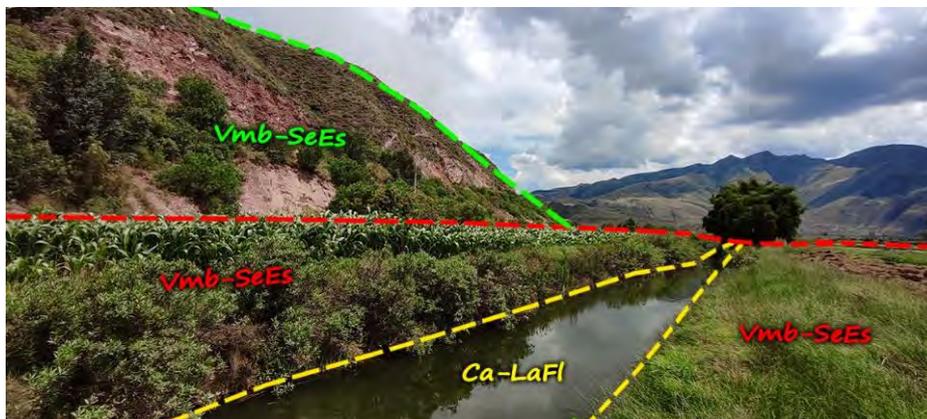
- c) Canal activo de cauce fluvial (Ca-Fl): Tramo de lecho por donde circula el río Huatanay, sedimentando gravas y arenas fluviales en el proceso debido a su energía media de cauce y alta en épocas de lluvia. Cubre un 0.92% de la zona de estudio local a través de 11195.79 m<sup>2</sup> de área con inclinaciones casi a nivel.

*Fotografía 7. Canal activo de cauce fluvial (Ca-Fl)*



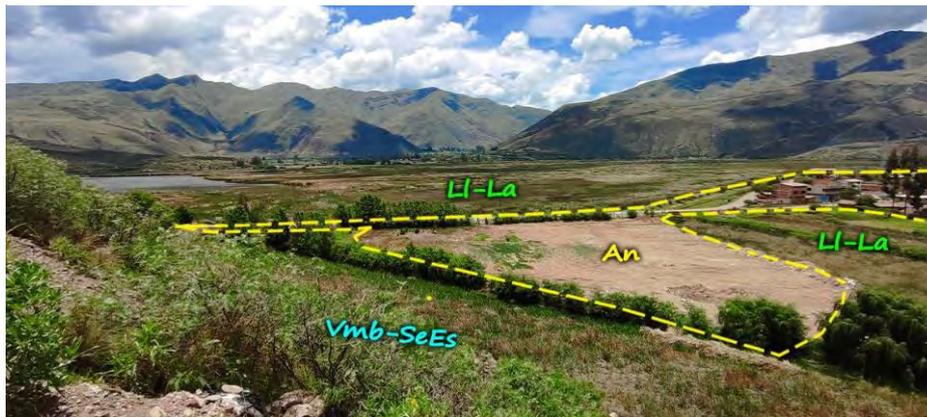
- d) Canal activo lacustrino fluvial (Ca-LaFl): Posee cualidades similares a el canal activo de cauce fluvial (Ca-Fl) con la diferencia de su baja energía de cauce que transporta y sedimenta material limoso – arenoso con algunas gravas coluviales de la unidad pie de monte coluvial (Pmb-Co) debido a su proximidad de origen (laguna Huacarpay). Esta unidad se extiende sobre 1887.36 m<sup>2</sup> cubriendo un 0.16% de la zona de ámbito local.

*Fotografía 8. Canal activo lacustrino fluvial (Ca-LaFl)*



- e) Material antrópico (An): extensión de 62164.24 m<sup>2</sup> con distintas inclinaciones predominantemente planas a ligeramente inclinadas. Se caracteriza por poseer material externo a la zona de estudio local, siendo usados como material agregado o de tipo relleno para construcción de infraestructura civil de cualquier tipo; referente a la zona de estudio local, esta geoforma ocupa un 35.38%.

*Fotografía 9. Material antrópico (An)*



### **5.2.3. Correlación e interpretación de unidades geomorfológicas**

Al integrar todas las geoformas descritas se puede interpretar que estas son producto de un extenso fondo de valle rodeado de una montaña fuertemente tectonizada, al NE del centro poblado Huacarpay; y una colina volcánica al NO. Este detalle indica que ambas unidades rocosas fueron originadas en distintos y contrastados tiempos geológicos, esta idea es reforzada por la forma física y geoestructural diferenciada que tienen entre sí, presentando una irregularidad geomorfológica, incluso encontrándose en la misma unidad morfoestructural “zona intermedia Altiplano – Cordillera oriental”.

Por otro lado; al ver las llanuras de la zona de trabajo local, es evidente que estos son producto de una “alteración orgánica” de depósitos de fondos de valle, pasando a convertirse en un lecho de valle lacustre, producto de la presencia de la laguna Huacarpay; no obstante, estos suelos orgánicos son modificados una segunda vez por depósitos fluviales de llanura de inundación originados por el río Huatanay.

#### ***5.2.4. Aportes geomorfológicos para la zonificación geotécnica***

Geomorfológicamente, la extensa llanura lacustre y/o fluvial es la que toma la principal relevancia ya que va construyendo una interpretación de suelos de fundación principalmente orgánicos que posee una extensión combinada con material procedente de llanuras de inundación del río Huatanay que incluye los sedimentos de su propio cauce.

A su vez, referente a el Área Huacarpay, se ha identificado 2 grupos principales sedimentarios, uno fluviolacustrino y otro lacustrino; que marcan la clasificación base de las unidades litoestratigráficas que la componen. Dichas unidades se abarcarán con mayor detalle en el siguiente capítulo de “Litoestratigrafía” que concluirá en un primer escenario de zonificación a través de un modelo litoestratigráfico 3D, este se actualizará en un segundo modelo geotécnico final 3D del cual se extraerá dos superficies base de zonificación geotécnica, a 1.50m y 3.50m de profundidad.

## VI. LITOESTRATIGRAFÍA

### 6.1. Contexto litoestratigráfico regional

#### 6.1.1. Fundamentos

En el punto central del área regional estudiado y dentro del fondo de valle del río Huatanay (tramo final), es donde se encuentra el centro poblado Huacarpay que se extiende sobre depósitos lacustrinos y fluviales, producto del curso actual río Huatanay y la sedimentación de la laguna Huacarpay; que en el Pliocuatnario, tuvo su origen por el surgimiento y represamiento del volcánico monogenético y shoshonítico Rumicolca al SE del presente centro poblado Huacarpay, que estancó el curso del río Huatanay de ese entonces, que cursaba todo el fondo de valle Cusco - Urcos de dirección NO-SE (Cardenas Roque, Carlotto Caillaux, & Carlier, 2011)

Desde otro punto de vista, la actual laguna Huacarpay también se puede definir como una extensión y/o herencia del antiguo lago Morkill (cuya extensión cubría principalmente todo el valle de Cusco donde actualmente yace la ciudad del mismo nombre) debido a que sus diques de represamiento se encontraban en la angostura Cusco – Oropesa; pero que, debido al estancamiento del monogenético Rumicolca, el cuerpo de agua del lago Morkill se “extendió” hasta donde actualmente se encuentra el centro poblado Huacarpay. Es por ello que la sedimentación lacustrina y/o fluvial que se originaron en ambos lugares (ciudad de Cusco y Centro poblado Huacarpay) son muy similares.

Estos depósitos cuaternarios son rodeados por dos sierras montañosas paralelas de dirección NO-SE donde el flanco SO es dominado por las formaciones Soncco y Kayra; y en contraparte, el flanco NE por las demás unidades de una manera caótica por su intensa actividad tectónica, especificadas en la figura 13 referente a litoestratigrafía regional.

### **6.1.2. Unidades litoestratigráficas**

De todas las unidades que afloran en la zona de trabajo regional, las que más relevancia poseen para el presente estudio son los depósitos cuaternarios de los fondos de valle por ser el material donde yace el actual centro poblado Huacarpay a zonificar. Estos depósitos, en conjunto, se asemejan en origen y litoestratigrafía, a la formación San Sebastián; que no se encuentra dentro del área regional estudiado, pero amerita ser mencionado para entender la sedimentación secuencial de la zona de estudio.

La formación San Sebastián, de edad pleistocena (1 Ma), es producto y evidencia de la existencia del lago Morkill formado por el represamiento de diques en la angostura Cusco-Oropesa que retuvieron el transcurso del río Huatanay formándose así estos cuerpos de agua que tuvieron épocas de desemboque y re-represamiento más de una vez, generando 5 secuencias sedimentarias (entre fluviales y/o lacustres) a lo largo de toda su historia estratigráfica. Es por toda esa interpretación que se podría afirmar que la actual laguna Huacarpay (0.7 Ma) es una herencia del antiguo lago Morkill. (Cardenas Roque, Carlotto Caillaux, & Carlier, 2011)

Con respecto a las demás unidades, estas son detalladas en orden de edad y litología en el gráfico (Figura 13), donde su codificación y simbología hace referencia al mapa regional geológico (G1-5).

Por otro lado; la formación Huancané, formada en el cretácico inferior (~130 a ~140 Ma), corresponde a una transición, de depósitos fluviales deltáicos hacia un ambiente marino somero y eólico, asociado a una transgresión marina. Lo cual hace que dicha unidad presente 2 miembros relacionados a cada ambiente y se caracterice por presentar bajos espesores (150m a 300m); posterior a este evento es que se generaron facies marinas someras evidenciados a través del grupo Yuncaypata (Formación Paucarbamba, Maras y Puquín) y formación Auzangate; hasta recuperar su ambiente

continental aluvial-fluvial con el grupo San Jerónimo (Formación Kayra y Soncco) y las que siguen en secuencia hasta la actualidad.

Figura 13. Columna litoestratigráfica de la zona de estudio regional

EON	ERA	PERIODO - ÉPOCA	EDAD (ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		ÁREA SUPERFICIAL (%)					
				Formación	Descripción	(ha)	(%)				
FANEROZOICO	CENOZOICO	Holoceno (Cuaternario)	0.01	L	Laguna	Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas.	65.07	0.28			
				Q-la	Depósito lacustrino	Acumulaciones de gravas, arenas, limos y arcillas transportadas en el cauce de río y quebradas.	2275.50	9.72			
				Q-fl	Depósito fluvial	Constituida por bloques rocosos heterométricos y homogéneos angulosos a sub angulosos.	1114.32	4.76			
				Q-d	Depósito coluvial	Acumulación de grava, arena, limo y arcillas con clastos subangulosos a angulosos de diferente composición.	1792.57	7.66			
				Q-al	Depósito aluvial	Depósitos morénicos, bloques angulosos rellenos con arcillas, limos y arenas.	2275.50	9.72			
				Q-gl	Depósito glaciar	Shoshonitas, andesitas.	19.48	0.08			
				Np-Q-r	Formación Runicolca	Brechas terrenciales con clastos de caliza.	910.86	3.89			
				Np-chin	Formación Chincheros	Areniscas y conglomerados polimicticos.	12.29	0.05			
				Peo-so/s	Formación Soncco Miembro superior	Conglomerados polimicticos.	1125.50	4.81			
				Peo-so/i	Formación Soncco Miembro inferior	Areniscas feldespáticas, lutitas rojas, conglomerados y bancos arenosos.	288.38	1.23			
	MEZOZOICO	M. superior (Triásico)	56.00	Peo-k	Formación Kayra	Arenisca beige friable y limoarcillas rojizas.	5337.68	22.80			
				P-m	Formación Muñani	Lutitas y margas rojo ladrillo con intercalaciones delgadas de yeso de medio lacustre.	39.82	0.17			
				KSP-a	Formación Auzangate	Areniscas fluviales hacia la parte superior. Presencia de carofitas.	655.18	2.80			
				Ks-puq	Formación Puquín	Lutitas rojas y moradas con carofitas, yesos. Lutitas Negras marinas muy poco profundas y areniscas	75.93	0.32			
				Kis-ma	Formación Maras	Arcillas, lutitas, y algunos estratos de calizas y yeso	779.21	3.33			
				Ki-pau	Formación Paucarabamba	Calizas gris oscuras, margas y lutitas paradas en capas delgadas.	89.60	0.38			
				Ki-hua	Formación Huancané	Areniscas cuarzosas blanquecinas en capas gruesas a medianas tabulares de grano medio a fino, con estructuras sedimentarias de estratificación sesgada y laminación interna paralela.	1396.49	5.97			
				Jskl-m	Formación Munt	Conglomerados, areniscas, limoarcillas y lodollitas, calizas y lentes de yeso.	293.60	1.25			
				Tsj-cc	Formación Cay Cay	Areniscas cuarzosas, conglomerados de conos aluviales con clastos de basaltos andesíticos y alcalinos.	1468.29	6.27			
				PALEOZOICO	M. inferior (Triásico)	252.17	Th-p	Formación Pachatusán	Riolitas de color rojo violáceo, cobadas, aglomerados y brechas volcánicas de basalto.	797.35	3.41
PEt-p	Formación Pisac	Conglomerados y areniscas rojo violáceas	174.09				0.74				
PEc-c	Grupo Copacabana	Calizas bioclásticas, areniscas y lutitas negras	368.30				1.57				
D-c	Grupo Cabanillas	Esquistos cuarzosos feldespáticos, filitas y pizarras, limoarcillas cremas, filitas, areniscas finas.	65.52				0.28				
SD-a	Formación Ananea	Lutitas y limoiltas grises predominantemente, areniscas lenticulares esporádicamente y pizarras negras.	1986.17				8.49				
M. medio (Triásico)	145.00	M. superior (Triásico)	M. inferior (Triásico)				Tsj-cc	Formación Cay Cay	Areniscas cuarzosas, conglomerados de conos aluviales con clastos de basaltos andesíticos y alcalinos.	1468.29	6.27
M. inferior (Triásico)	252.17	M. superior (Triásico)	M. inferior (Triásico)				PEt-p	Formación Pisac	Conglomerados y areniscas rojo violáceas	174.09	0.74
M. superior (Triásico)	56.00	M. inferior (Triásico)	M. superior (Triásico)				D-c	Grupo Cabanillas	Esquistos cuarzosos feldespáticos, filitas y pizarras, limoarcillas cremas, filitas, areniscas finas.	65.52	0.28
				SD-a	Formación Ananea	Lutitas y limoiltas grises predominantemente, areniscas lenticulares esporádicamente y pizarras negras.					

Nota. Adaptado del cuadrangulo geologico 28s de INGEMMET

## **6.2. Litoestratigrafía local**

### **6.2.1. Fundamentos**

Para una interpretación adecuada de las unidades litoestratigráficas locales se procedió a estudiarlo mediante una exploración de campo a través de un cartografiado en planta respecto a la zona de estudio local; acompañado de una segunda exploración complementaria detallada solo del “Área Huacarpay” a través de la perforación de 7 calicatas de exploración de 3.5 a 4 metros de profundidad, repartidas regularmente en puntos estratégicos con el objeto de recoger, analizar, correlacionar e interpretar toda la información secuencial litoestratigráfica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay (Área Huacarpay) para determinar la secuencia litoestratigráfica local y obtener un primer escenario de zonificación litológica y estratigráfica secuencial. A continuación, se muestra todo el proceso seguido para llegar a este fin.

### **6.2.2. Unidades litológicas**

Este ítem toma como referencia, la información cartográfica de la zona de estudio local.

- Formación Huancané (Ki-Hu): Formada durante el cretácico inferior, ocupa toda la extensión de franja de montaña baja al Este del centro poblado Huacarpay y compone de dos miembros. El miembro inferior de tonalidad rojiza está compuesto de areniscas cuarzosas de grano redondeado y areniscas conglomerádicas principalmente; representando en conjunto, el sistema fluvial deltaico granodecreciente al que corresponde según su contexto regional.

Por otro lado, y en continuación al miembro inferior, el miembro superior se caracteriza por presentar una litología similar a la antes descrita, pero de una tonalidad blanquecina por su composición carbonatada por su origen eólico y marino somero con laminaciones oblicuas.

Todo el conjunto, dentro de la zona de trabajo local, presenta estratificaciones invertidas con azimuts que rondan entre N325° a N357° con buzamientos de igual dirección, pero de diversas inclinaciones que van desde los 38°NE hasta los 72°NE; fuertemente afectados por diversas estructuras geológicas debido a todo su historial estructural – tectónico. Como resultado, la unidad inferior aflora predominantemente en el margen superior de la franja Huancané dentro de la zona de estudio local (representación de la formación Huancané dentro del plano geológico local (G1-10), presentando un cambio transicional hacia el miembro superior en el sector inferior de dicha franja, mostrando una intercalación entre ambos miembros en el transcurso.

Según la secuencia litoestratigráfica regional, los miembros detallados de la formación Huancané van en una secuencia inversa a la que se describe en este apartado, evidenciando así que dichos estratos se encuentran invertidos.

Es de importancia mencionar que esta unidad está cubierta en gran parte por depósitos cuaternarios Deluviales y Proluviales de distintos espesores (desde centímetros hasta algunos metros). Por lo que, para su representación en el plano geológico local, se está considerando como Formación Huancané a las áreas que están cubiertos por capas delgadas de material cuaternario (menores a 1 metro) o con roca aflorada directamente.

*Fotografía 10. Intercalación de miembros de la formación Huancané (Ki-Hu)*



*Fotografía 11. Miembro superior de la formación Huancané (Ki-Hu)*



- Formación Rumicolca (NpQ-r): De edad Plio-Cuaternaria ( $\sim 0.7\text{Ma}$ ), es un conjunto de coladas volcánicas de composición shoshonítica, ricas en potasio y de tonalidad grisácea (Andesitas, Traquitas y Dacitas), de las que solo afloran Andesitas y Traquitas en la zona local de estudio. Oscura en un panorama general, estos volcánicos son producto del ascenso de magmas monogenéticos dispersados en distintos cuerpos volcánicos que afloran dispersamente. A todo este conjunto se le denomina Formación Rumicolca.

Dentro de la zona local de estudio, esta formación aflora en forma de colina baja ubicada al NO del centro poblado Huacarpay, donde actualmente se encuentra el parque arqueológico Urpicancha. Compone principalmente de Andesitas oscuras de textura afanítica con algunos fenocristales de ortosa y flogopita en una predominante matriz microlítica de plagioclasa cálcica, ortosa y minerales máficos como biotita y hornblenda.

Con menos presencia y puntualmente, también presenta traquitas rojizas de textura porfirítica con algunos fenocristales de ortosa y biotita en una matriz microlítica de ortosa de coloración rojiza por la presencia de óxidos de hierro en su composición. Particularmente, el conjunto posee abundantes xenocristales de cuarzo y ortosa con bordes alterados; lo que da a entender que, en el enfriamiento del

volcánico monogenético, también hubo una mezcla magmática entre el máfico potásico shoshonítico (rico en potasio) y otro extremo félsico (xenocristales de cuarzo y ortosa) como también se muestra en la memoria descriptiva “geología del cuadrángulo de cusco hoja 28-s boletín N°138 serie A” (Cardenas Roque, Carlotto Caillaux, & Carlier, 2011).

Al igual que la formación Huancané, cabe aclarar que esta unidad también se encuentra cubierta por material cuaternario Deluvial y Eluvial de distintos espesores. Debido a ello se está considerando como volcánico Rumicolca a extensiones con poco material cuaternario (espesores menores a 1 metro), en su representación dentro del mapa geológico local (G1-7).

*Fotografía 12. Andesita shoshoníticas de textura fluidal de la formación Rumicolca*



*Fotografía 13. Andesita shoshoníticas de textura escoriácea de la formación Rumicolca*



*Fotografía 14. Traquita Shoshonítica rojiza de la formación Rumicolca*



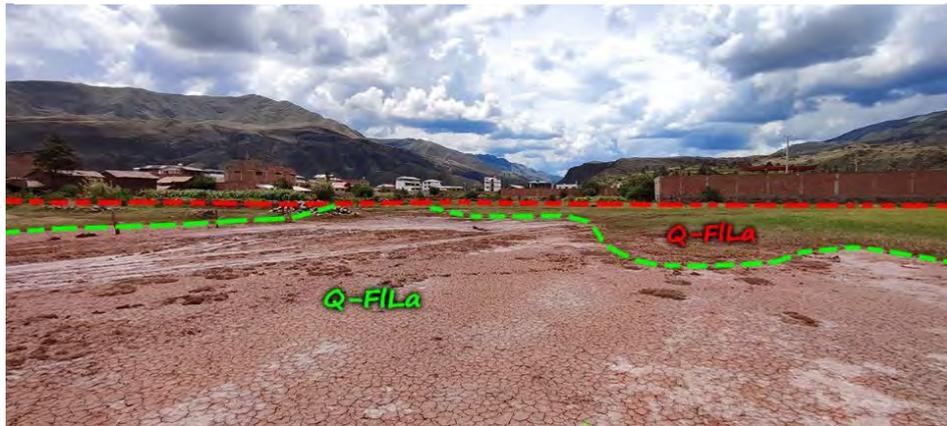
- Cuaternario fluvial (Q-FI): Material depositado por el canal activo del río Huatanay en la zona de trabajo, adopta un pseudocomportamiento de río meandriforme y Compone de canales de arenas redondeadas con gravas limpias redondeadas medianamente sorteadas de 1 a 2 cm de tamaño promedio, con clastos redondeados esporádicos de hasta 10 cm y barras de arena medianamente sorteadas de grano medio con limos en su contenido; debido a la mediana energía o caudal del río mencionado. Todo el conjunto presenta una gradación grano decreciente no muy definida.

*Fotografía 15. Cuaternario fluvial (Q-FI)*



- Cuaternario Fluvioacutrino (Q-FILa): Extensión formada por la llanura de inundación fluvial compuesta originalmente de arenas limosas y/o arcillosas medianamente gradadas del río Huatanay, combinado y en menor proporción, con los depósitos lacustrinos de la antigua extensión de la laguna Huacarpay; por lo que todo el conjunto adquiere una composición arenosa limosa de textura granocreciente y/o laminar difusa, en su mayoría, con cuerpos pequeños e irregulares de limos y hasta limos arcillosos. Cabe mencionar que la composición litológica de esta unidad se da por la fuerte influencia de continuos desbordes del río Huatanay a lo largo de toda su historia, como la trágica inundación del Centro poblado Huacarpay en el 2010 a causa directa del desborde del río mencionado.

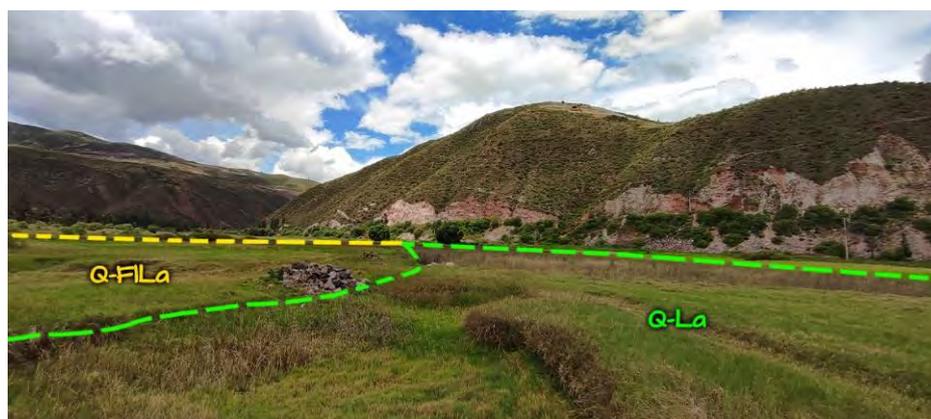
*Fotografía 16. Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)*



*Nota. La fotografía muestra la unidad Q-FILa con 2 subgrupos ligeramente diferenciadas con respecto a su composición litológica, donde el lado verde presenta una composición más arcillosa que la roja.*

- Cuaternario Lacustrino (Q-la): Extensión ocupada por gran parte del complemento de depósito Fluviolacustrino, dentro de la extensa llanura en la zona de trabajo local. Esta unidad está formada por la acumulación de depósitos finos como arcillas, limos arcillosos y cuerpos de turbas sin clastos y de aspecto untuoso que varían según al tamaño de grano y contenidos de arcillas, con abundante materia orgánica en su composición producto de la presencia del actual humedal Huacarpay; y en tiempos anteriores, la laguna del mismo nombre cuyo cuerpo de agua cubría esta extensión.

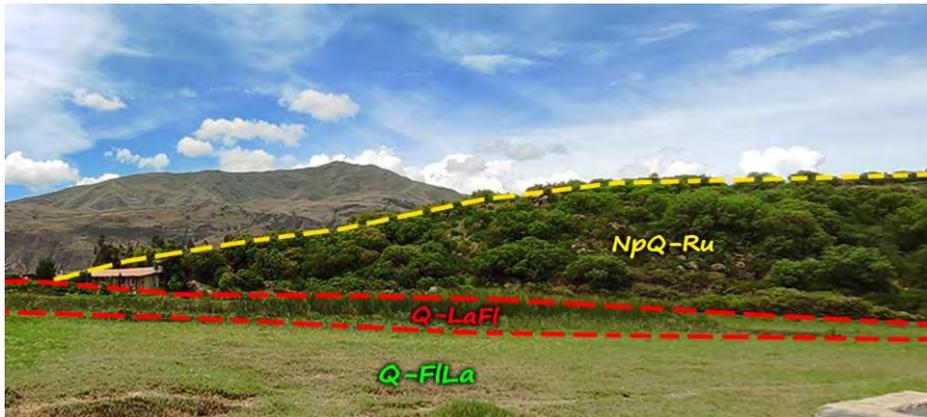
*Fotografía 17. Cuaternario Lacustrino (Q-la)*



- Cuaternario Lacustrino-Fluvial (Q-LaFl): Ubicado al pie de la colina (margen derecho) de la zona de estudio local y en forma de franja, presenta una composición similar a la unidad Fluviolacustrina, anteriormente descrita; pero con la diferencia de

que en estos depósitos predomina la presencia de material fino (limos arcillosos y arcillas) sobre el granular fluvial como arenas y arenas limosas. Este cambio se da debido al afloramiento constante de nivel freático al nivel de la superficie de terreno que a su vez comparte la composición de la unidad Fluviolacustrina.

*Fotografía 18. Cuaternario Lacustrino-Fluvial (Q-LaFl)*



- Cuaternario Eluvial (Q-El): Este material se encuentra en la cima de la colina antes mencionada producto de la intemperización insitu del volcánico Rumicolca, presentando una amplia gamma granulométrica con predominancia en limos, limos arenosos angulares con gravilla y bloques de diversos tamaños.

Esta cima tiene un valor histórico y patrimonial donde yace las ruinas del centro arqueológico Urpicancha; por lo que, es correcto afirmar que este suceso hace que los depósitos eluviales en esta zona estén medianamente alterados entrópicamente, cambiando solo su forma física mas no su composición litológica.

*Fotografía 19. Cuaternario Eluvial (Q-El):*



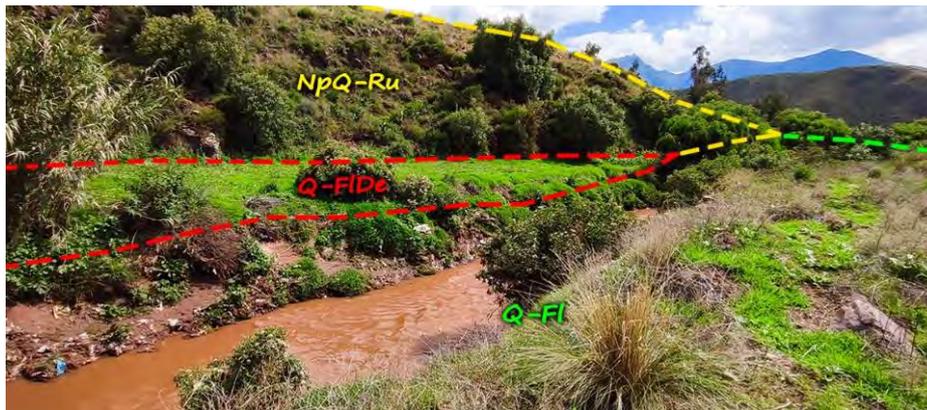
- Cuaternario Deluvial (Q-De): Material compuesto principalmente por limos y limos arenosos subangulosos, depositados sobre las laderas de pendientes moderadas de la colina formada por el volcánico Rumicolca lo que hace que estos deluviales contengan gravas, bloques y cantos rodados de andesitas y traquitas de diversos tamaños con más acto de presencia en la parte media a superior de la mencionada colina. Esta unidad también se presenta en las laderas de la formación Huancané, el cual genera limos arcillosos con arena con clastos subangulosos de areniscas fluviales y carbonatadas.

*Fotografía 20. Cuaternario Deluvial (Q-De)*



- Cuaternario Fluviodeluvial (Q-FIDe): Ubicado al pie de la colina baja volcánica dentro de la zona de estudio local y en forma de franja, esta unidad es denominado así por la mezcla de material deluvial (procedente de la colina del volcánico Rumicolca) dentro de depósitos de llanura de inundación del río Huatanay, predominando los materiales Fluviales sobre los Deluviales. Dándose como resultado una composición granular como arenas limosas fluviales redondeadas en su mayoría; mezclada con limos y arenas subangulosas intemperizadas y provenientes del volcánico Rumicolca.

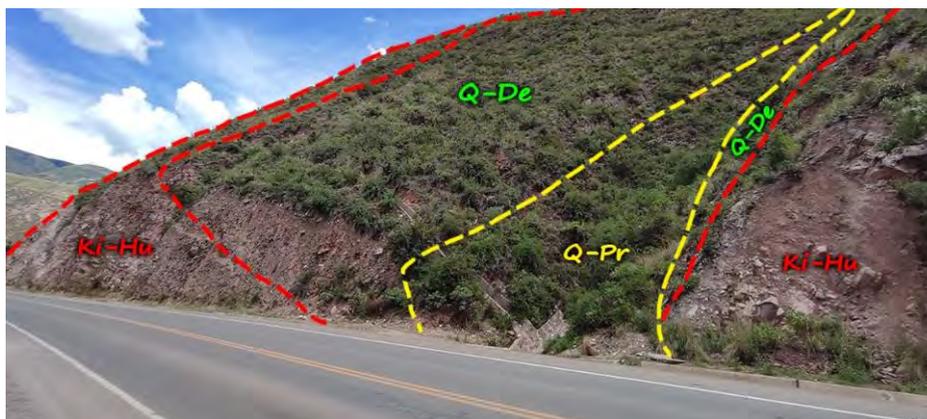
Fotografía 21. Cuaternario Fluviodeluvial (Q-FIDe)



- Cuaternario Proluvial (Q-Pr): Unidad producto de la sedimentación de surcos temporales de agua sobre el material Deluvial formado en las laderas de la formación Huancané, adopta una litología similar a una fluvial, pero de esfericidad subangulosa a angulosa, mezclada con limos y arcillas, dándole una composición limosa-arcillosa con arenas y clastos angulosos y subangulosos de diversos tamaños acompañados de bloques, también angulosos, y algunos cantos rodados.

Al ser formado por flujos de agua, estos se almacenan en los canales de erosión incipiente acumulando, en el proceso, los mayores espesores de material cuaternario con respecto a sus alrededores, alcanzando potencias de hasta 3 metros.

Fotografía 22. Cuaternario Proluvial (Q-Pr)

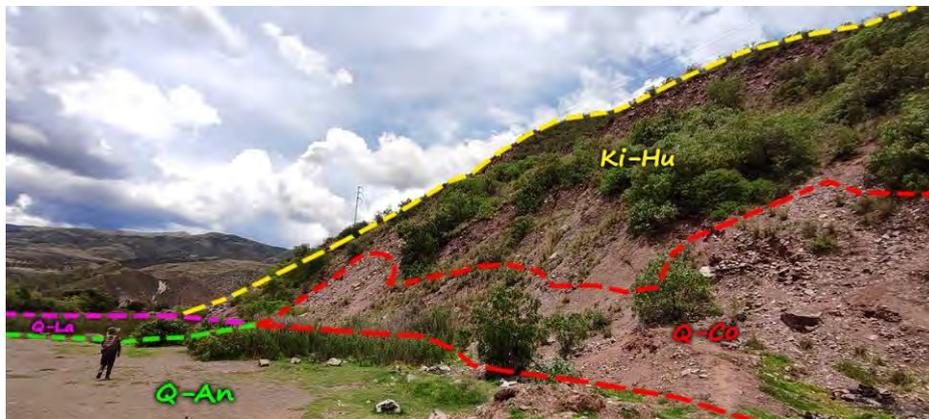


- Cuaternario Coluvial (Q-Co): Material sedimentado y acumulado por la erosión gravitacional de la formación Huancané, es por ello que dicho depósito es formado en los pies de la franja montañosa Huancané dentro de la zona de trabajo local,

adoptando una litología predominantemente granular de arenas con gravas medianamente a mal sorteadas y angulosas con limos en menor proporción.

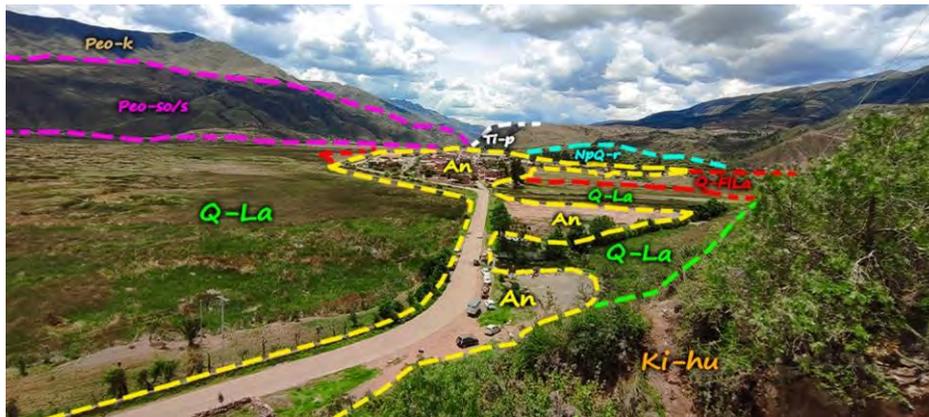
Pendiente abajo de este material, se encuentra la continuación del Río Lucre saliente de la laguna Huacarpay. Este flujo posee un bajo caudal en su tramo inicial haciendo que el transporte de sedimentos sea limoso con algunos clastos angulosos y arenas socavadas del depósito coluvial. Cabe aclarar que dicho río pasa; tanto, por el material coluvial, así como por los depósitos Lacustrinos vecinos, descrito anteriormente.

*Fotografía 23. Cuaternario Coluvial (Q-Co)*



- Material Antrópico (An): Esta unidad compone cualquier material modificado y/o transportado por la actividad humana. Gran parte de este depósito lo conforma el material de relleno, mencionado en capítulos anteriores, que cubre gran parte de los suelos originarios del centro poblado Huacarpay, adoptando potencias de 1.5 a 2m metros en promedio.

Fotografía 24. Material Antrópico (An)



### 6.2.3. Genesis, correlación, interpretación de unidades litológicas

Analizando, interpretando y correlacionando toda la información hasta el momento; se puede definir, de manera global, a la zona de estudio local como un **ambiente sedimentario “Lacustre-Fluvial”**.

Es importante recalcar que el término **“Lacustre”** hace referencia a el ambiente sedimentario en general; en cambio, el término **“Lacustrino”** indica unidades litológicas dentro del ambiente lacustre. Esta terminología se detalla en el apartado (3.2 Marco Teórico – Conceptual).

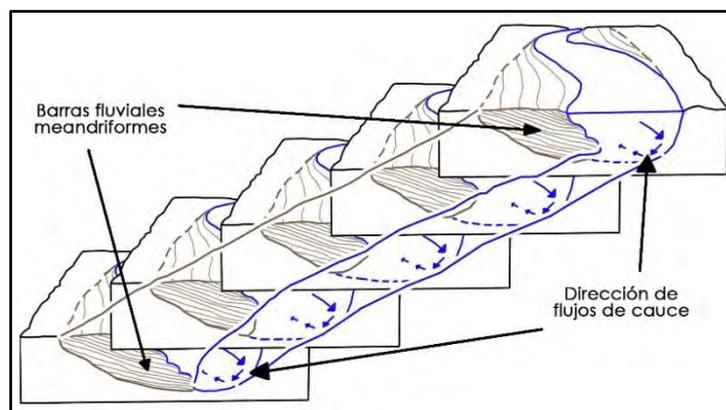
Es así, como el ambiente “Lacustre-Fluvial” está dominado por unidades litológicas finas con materia orgánica descompuesta dentro de su distribución en general, debido a la presencia de la laguna Huacarpay (tanto en su extensión antigua como en la actual) que están combinados con depósitos fluviales del río Huatanay a través de sedimentos de llanura de inundación o las que se formaron por el mismo cauce.

Es importante mencionar que las llanuras de este ambiente presentan un dominio puramente lacustrino en el margen derecho del Área Huacarpay, a través de depósitos arcillosos con alto contenido de material orgánico en su distribución en general, debido a su cercanía con el actual humedal y laguna Huacarpay, y lejanía con el curso actual del río Huatanay.

Según al contexto litoestratigráfico regional y su cartografiado local, la laguna Huacarpay fue formado durante el Pliocuaternario (por el surgimiento del volcánico Rumicolca, ampliamente explicado anteriormente) dejando sedimentos finos lacustrinos como arcillas, limos y turbas durante un periodo. Posterior a ello es que se da la generación de un punto de desemboque al norte de laguna Huacarpay de ese entonces. Recuperando así, el río Huatanay, la continuidad de su curso y fluyendo por un nuevo surco hacia el lado de Huambutío. Es por este evento que la laguna Huacarpay perdió gran parte de su extensión en la actualidad, dejando sedimentos lacustrinos al descubierto y por estos depósitos se fue almacenando material fluvial a través del canal del río Huatanay y su llanura de inundación. que tienen una presencia predominante en el lado izquierdo y medio del Área Huacarpay.

Cabe aclarar que debido a la granulometría fina de los depósitos lacustrinos del lugar y su pendiente llana, el río Huatanay adopta un comportamiento “pseudomeandriforme” teniendo múltiples cambios de posición en el transcurso de su historia; a través de migraciones progresivas e inclinadas de canal y por avulsión fluvial, que son el corte repentino de la parte meándrica de su cauce, dando apertura a su traslado mediante un nuevo surco distinto. Todos estos cambios se aprecian en vistas de perfil y transversalmente al eje de canal del río.

*Figura 14. Secuencia sedimentaria de ríos meandriformes*



*Nota. La imagen es un proyección sedimentaria para el río Huatanay, dentro de la zona local de estudio.*

Es por todo ello que se concluye que, este ambiente “**Lacustre-Fluvial**” es básicamente sedimentos de canales y barras fluviales con cambios de posición constantes, contenidos en depósitos fluviolacustrinos, en el lado izquierdo y medio del Área Huacarpay, y depósitos puramente lacustrinos en el lado derecho de la mencionada zona.

#### ***6.2.4. Litoestratigrafía de calicatas de exploración***

Para este apartado se está tomando como referencia directa la información extraída de la perforación de 7 calicatas de exploración dentro del “Área Huacarpay”; a diferencia del ítem anterior, que tomaba como referencia el área de estudio local y su cartografiado geológico.

Cabe aclarar que el “Área Huacarpay” contiene solo 3 unidades cuaternarias locales agrupados según a sus facies sedimentarias (Cuaternario Antrópico, Cuaternario Fluviolacustrino y Cuaternario Lacustrino) con respecto a su cartografiado local. Estas 3 unidades se desprenden en más subdivisiones de acuerdo a su caracterización litológica detallada según lo descrito e interpretado en las 7 calicatas de exploración.

- Calicata C-01 (204393.9E, 8493747.7N, 3132.4msnm):

*Tabla 12. Estratigrafía de la calicata C-01*

<b>Estr.</b>	<b>Pot.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Composición litológica</b>
E-4	1.4m	0.0m-1.4m	<b>Material Antrópico (An):</b> Material de relleno incrustado por la mano del hombre con fines de material almacenante para cimentación, compone una predominante composición limosa arenosa con clastos de distintos diámetros. Todo este conjunto contiene distintos elementos adicionales como otro tipo de suelos o hasta residuos de basura.
E-3	1.8m	1.4m-3.2m	<b>Limo Fluvioacuático 1 (Li-FILa1):</b> Limos arenosos fluviales originados por constantes desbordes del río Huatanay a través de llanuras de inundación compuestas por un aproximado de 20% limos arenosos retrabajados, combinados con un aproximado 80% de suelos lacustrinos arcillosos de textura granocreciente. Todo el conjunto se caracteriza por tener una predominancia de composición arcillosa lacustrina sobre los limos arenosos fluviales; que en conjunto se tornan en un color pardo marrón, humedad media y consistencia media a blanda.
E-2	0.1m	3.2m-3.3m	<b>Lente de Turba (Tb-Le):</b> Delgada capa de turba grisácea húmeda compuesta de limo arcilloso de textura laminar difusa y consistencia blanda, formado por un posible estancamiento constante de agua en forma de charco.
E-1	0.5m	3.3m-3.8m	<b>Arena Fluvial (Are-FI):</b> Arena fluvial de grano fino medianamente sorteados, formado en barras fluviales del río Huatanay, pero en una posición anterior a la actual; con un alto contenido de limos (al menos 40%) debido a su cercanía a los márgenes del cauce. Todo el conjunto posee una humedad media, color pardo rojizo, textura masiva a laminar difusa, compacidad media y a la fecha actual de exploración presenta nivel freático a 3.80m de profundidad.

*Fotografía 25. Vista panorámica de la calicata C-01*



*Fotografía 26. Vista cercana de la calicata C-01*



- Calicata C-02 (204067.9E, 8493601.1N, 3130.8msnm):

Tabla 13. Estratigrafía de la calicata C-02

Estr.	Pot.	Prof.	Composición litológica
E-4	0.8m	0.0m-0.8m	<b>Material Antrópico (An):</b> Material de relleno incrustado por la mano del hombre con fines de material almacenante para cimentación, compone una predominante composición limosa arenosa con clastos de distintos diámetros. Todo este conjunto contiene distintos elementos adicionales como otro tipo de suelos o hasta residuos de basura.
E-3	0.7m	0.8m-1.5m	<b>Limo Fluvioacuático 1 (Li-FILa1):</b> Limos arenosos fluviales originados por constantes desbordes del río Huatanay a través de llanuras de inundación compuestas por un aproximado de 20% limos arenosos retrabajados, combinados con un aproximado 80% de suelos lacustrinos arcillosos de textura granocreciente. Todo el conjunto se caracteriza por tener una predominancia de composición arcillosa lacustrina sobre los limos arenosos fluviales, color pardo marrón, humedad media y consistencia media a blanda.
E-2	0.8m	1.5m-2.3m	<b>Limo Fluvioacuático 2 (Li-FILa2):</b> Este estrato es similar a la unidad "Limo Fluvioacuático 1 (Li-FILa1)", con la diferencia de poseer una composición general limosa arenosa predominante sobre las arcillas lacustrinas a pesar de tener pequeños e irregulares cuerpos donde las arcillas toman un poco de relevancia sobre los limos arenosos; todo el conjunto posee una coloración más clara que la unidad Li-FILa1, una textura conjunta granocreciente y compacidad media.
E-1	1.3m	2.3m-3.6m	<b>Arena Fluvial (Are-Fl):</b> Arena fluvial de grano medio a fino formado en barras fluviales del río Huatanay, pero en una posición anterior a la actual. Esta unidad para el punto C-02, posee un bajo contenido de limos a diferencia de la calicata C-01. Todo el conjunto posee una humedad alta, un color pardo café oscuro, textura laminar difusa, compacidad media a suelta por la presencia de nivel freático a 3.20m de profundidad.

Fotografía 27. Vista panorámica de la calicata C-02



Fotografía 28. Vista cercana de la calicata C-02



- Calicata C-03 (204307.0E, 8493487.0N, 3131.5msnm)

Tabla 14. Estratigrafía de la calicata C-03

Estr.	Pot.	Prof.	Composición litológica
E-3	1.3m	0.0m-1.3m	<b>Material Antrópico (An):</b> Material de relleno incrustado por la mano del hombre con fines de material almacenante para cimentación, compone una predominante composición limosa arenosa con clastos de distintos diámetros. Todo este conjunto contiene distintos elementos adicionales como otro tipo de suelos o hasta residuos de basura.
E-2	1.3m	1.3m-2.6m	<b>Limo Fluviolacustrino 2 (Li-FILa2):</b> Este estrato es similar a la unidad "Limo Fluviolacustrino 1 (Li-FILa1)", con la diferencia de poseer una composición general limosa arenosa predominante sobre las arcillas lacustrinas a pesar de tener pequeños e irregulares cuerpos donde las arcillas toman un poco de relevancia sobre los limos arenosos; todo el conjunto posee una coloración más clara que la unidad Li-FILa1, una textura conjunta granocreciente de compacidad media.
E-1	1.1m	2.6m-3.7m	<b>Arcilla Fluviolacustrina (Ar-FILa):</b> esta unidad se formó en condiciones de llanura de inundación fluviolacustrina, similar a la unidad Li-FILa2, pero con una intemperización mayor; pasando a convertirse en arcillas limosas granocreciente producto de un constante estado de humedad media a alta o saturada. Este estrato posee una coloración parduzca marrón, consistencia media a blanda por la presencia de nivel freático a 2.6m de profundidad.

Fotografía 29. Vista panorámica de la calicata C-03



Fotografía 30. Vista cercana de la calicata C-03



- Calicata C-04 (204537.8E, 8493451.5N, 3131.5msnm)

*Tabla 15. Estratigrafía de la calicata C-04*

<b>Estr.</b>	<b>Pot.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Composición litológica</b>
E-3	1.5m	0.0m-1.4m	<b>Material Antrópico (An):</b> Material de relleno incrustado por la mano del hombre con fines de material almacenante para cimentación, compone una predominante composición limosa arenosa con clastos de distintos diámetros. Todo este conjunto contiene distintos elementos adicionales como otro tipo de suelos o hasta residuos de basura.
E-2	1.5m	1.4m-2.9m	<b>Limo Fluviolacustrino 2 (Li-FILa2):</b> Este estrato es similar a la unidad "Limo Fluviolacustrino 1 (Li-FILa1)", con la diferencia de poseer una composición general limosa arenosa predominante sobre las arcillas lacustrinas a pesar de tener pequeños e irregulares cuerpos donde las arcillas toman un poco de relevancia sobre los limos arenosos; todo el conjunto posee una coloración más clara que la unidad Li-FILa1, una textura conjunta granocreciente de compacidad media.
E-1	1.0m	2.9m-3.9m	<b>Arcilla Fluviolacustrina (Ar-FILa):</b> esta unidad se formó en condiciones de llanura de inundación fluviolacustrina, similar a la unidad Li-FILa2, pero con una intemperización mayor; pasando a convertirse en arcillas limosas granocrecientes producto de un constante estado de humedad media a alta o saturada. Este estrato posee una coloración parduzca marrón, consistencia media a blanda y presenta nivel freático a 3.1m de profundidad.

*Fotografía 31. Vista panorámica de la calicata C-04*



*Fotografía 32. Vista cercana de la calicata C-04*



- Calicata C-05 (204699.4E, 8493454.2N, 3131.2msnm)

*Tabla 16. Estratigrafía de la calicata C-05*

<b>Estr.</b>	<b>Pot.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Composición litológica</b>
E-2	1.0m	0.0m-1.0m	<b>Material Antrópico (An):</b> Material de relleno incrustado por la mano del hombre con fines de material almacenante para cimentación, compone una predominante composición limosa arenosa con clastos de distintos diámetros. Todo este conjunto contiene distintos elementos adicionales como otro tipo de suelos o hasta residuos de basura.
E-1	1.4m	1.0m-3.5m	<b>Arcilla Lacustrina (Ar-La):</b> depósitos arcillosos de consistencia media y textura granocreciente, con medio a alto contenido de material orgánico en su composición debido a su proximidad a la laguna Huacarpay. Cabe mencionar que esta unidad posee un posible límite entre 2 tipos de arcilla (una más fina que la otra) a 2.1m de profundidad, todo el conjunto posee una coloración parduzca marrón en la parte superior del estrato y una más rojiza en la parte inferior. A la fecha actual de exploración, posee nivel freático en la base de la calicata a 3.5m de profundidad.

*Fotografía 33. Vista panorámica de la calicata C-05*



*Fotografía 34. Vista cercana de la calicata C-05*



- Calicata C-06 (204854.7E, 8493539.4N, 3129.6msnm)

*Tabla 17. Estratigrafía de la calicata C-06*

<b>Estr.</b>	<b>Pot.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Composición litológica</b>
E-2	4.0m	0.0m-4.0m	<b>Arcilla Lacustrina (Ar-La):</b> Depósitos arcillosos de consistencia blanda a media y textura granocreciente, con medio a alto contenido de material orgánico en su composición debido a su proximidad a la laguna Huacarpay. Cabe mencionar que esta unidad posee un posible límite entre 2 tipos de arcilla (una más fina que la otra) a 3.7m de profundidad, todo el conjunto posee una coloración parduzca marrón en la parte superior del estrato y una más rojiza en la base del estrato. Cabe mencionar que este estrato presenta un estado de saturación a 3.0m de profundidad, por lo que, al presentarse en arcillas, podemos afirmar que esta toma la función de nivel freático.
E-1	0.5m	4.0m-4.5m	<b>Turba Lacustrina (Tb-La):</b> cuerpo de turba de composición arcillosa, textura masiva, consistencia blanda a media y una coloración grisácea oscura por su alto contenido de material orgánico en su composición y proximidad bastante cercana a la laguna Huacarpay. Todo el conjunto posee una humedad alta.

*Fotografía 35. Vista panorámica de la calicata C-06*



*Fotografía 36. Vista cercana de la calicata C-06*



- Calicata C-07 (204576.5E, 8493681.3N, 3130.4msnm)

Tabla 18. Estratigrafía de la calicata C-07

Estr.	Pot.	Prof.	Composición litológica
E-2	3.0m	0.0m-3.0m	<b>Limo Fluviolacustrino 2 (Li-FILa2):</b> Este estrato es similar a la unidad "Limo Fluviolacustrino 1 (Li-FILa1)", con la diferencia de poseer una composición general limosa arenosa, granocreciente y compacidad media, predominante sobre las arcillas lacustrinas a pesar de tener pequeños e irregulares cuerpos donde las arcillas toman un poco más de relevancia sobre los limos arenosos; todo el conjunto posee una coloración más clara que la unidad Li-FILa1. Esta unidad al estar expuesta a la intemperie para esta calicata, posee raíces vegetales en el techo del estrato y una cobertura vegetal poco densa en la superficie.
E-1	0.5m	3.0m-3.5m	<b>Grava Fluvial (Gr-FI):</b> Estrato de un 15 a 20% de clastos redondeados y medianamente sorteados con diámetros regulares de 3 a 4cm y algunos esporádicos de hasta 10cm. Estos clastos se encuentran contenidos en un 75 a 80% de matriz arenosa suelta y en estado saturado de color pardo café oscuro. A la fecha actual de exploración, este estrato presenta nivel freático a 3m de profundidad.

Fotografía 37. Vista panorámica de la calicata C-07



Fotografía 38. Vista cercana de la calicata C-07



### **6.2.5. Correlación, interpretación y secuencia litoestratigráfica**

En base a toda la información interpretada y estudiada hasta el momento, se puede interpretar que, los suelos de fundación superficial del Área Huacarpay, están distribuidos en dos grupos o facies sedimentarias importantes, si obviamos el Material Antrópico (An).

Por un lado, está el margen izquierdo del Área Huacarpay (cuadrante NO y SO) que compone de depósitos Cuaternarios Fluviolacustrinos (Q-FILa) que se subdividen en más unidades litológicas que a su vez se agrupan según a las condiciones sedimentarias en las que fueron formadas (Facies sedimentarias).

En contraparte, el lado derecho del Área Huacarpay (cuadrante NE y SE) está formado por depósitos Cuaternarios Lacustrinos (Q-La) que también se clasifican en unidades menores según a su caracterización litológica y agrupados según a sus condiciones sedimentarias.

Es así como la integración de estos márgenes forma el ambiente sedimentario **Lacustre – Fluvial**, donde el margen Fluviolacustrino (Q-FILa) se comporta como una llanura de inundación fluvial combinados con los depósitos lacustrinos preexistentes, dicho origen fluvial se da por la presencia del río Huatanay que adopta un comportamiento pseudomeandriforme; en consecuencia, deja a su paso depósitos fluviales de canal de río encajonados dentro las llanuras fluviolacustrinas con unidades limosas – arenosas identificadas en los estratos intermedios de las calicatas C-01, C-02, C-03, C-04 y C-07.

Es importante mencionar que el curso del río Huatanay tuvo múltiples cambios de posición por la energía de flujo diferenciada que hay en los extremos del mismo cauce, que se cortan o desvían (comportamiento característico de ríos meandriformes); este cambio se evidencia con el estrato de arenas fluviales (Are-F1) en el fondo de la calicata C-02 y gravas fluviales (Gr-F1) en el fondo de la calicata C-07 que representan sedimentos

de un antiguo cauce del río Huatanay. Donde, entre este cauce antiguo y el actual, existe un elevado distanciamiento. Dicha evidencia se refuerza por la ausencia de depósitos fluviales de canal, entre los depósitos del antiguo cauce y el actual.

Por otro lado y en contraparte, el margen lacustrino (Q-La) presenta depósitos finos arcillosos en toda su distribución, con ausencia de arenas, poco contenido de limos, densa cobertura vegetal, estrecha cercanía a actual la laguna Huacarpay y lejanía al curso antiguo y actual del río Huatanay.

La secuencia estratigráfica de todas estas unidades se muestra en la tabla siguiente.

*Tabla 19. Litoestratigrafía del Área Huacarpay*

Dep. Cuaternarios	Secuencia estratigráfica			
	Unidad	Sobreyace	Subyace	Distribución geométrica
Cuaternario Antrópico (Q-An)	Material Antrópico (An)	A todas las unidades	-	Estratos variables que circundan los 1.5 metros de espesor. Horizontalmente, se distribuyen en zonas con edificaciones estructurales.
Cuaternario Fluvioacustrino (Q-FILa)	Limo fluvioacustrino 1 (Li-FILa1)	Limo fluvioacustrino 2 (Li-FILa2)	Material de relleno	En la zona de estudio abarca solo un cuerpo que circundan entre 1 a 2 metros de potencia y una forma lenticular en general, con una extensión horizontal que abarca a las calicatas C-01 y C-02
	Limo fluvioacustrino 2 (Li-FILa2)	Arcilla fluvioacustrina (Ar-FILa)	Limo fluvioacustrino 1 (Li-LaFIL)	Estrato que cubre gran parte de la extensión del "área Huacarpay". Posee espesores que oscilan los 2 metros, este estrato contiene al cuerpo lenticular "limo lacustrino fluvial" en su distribución espacial.
	Arena fluvial (Ar-FI)	-	-	Adoptan la forma de canal de río con una tendencia de movimiento perpendicular a la dirección de flujo (característica particular de ríos meandriformes). Es así, que su forma en general, corta algunos estratos al igual que un intrusivo corta a sus rocas encajonantes. En el "área Huacarpay" esta unidad fluvial se presenta en 2 cuerpos diferentes y separados formados en distintos tiempos.
	Grava fluvial (Gr-FI)	-	-	
	Arcilla fluvioacustrina (Ar-FILa)	-	Limo fluvioacustrino 2 (Li-FILa2)	Estrato que subyace toda la extensión de la unidad "limo fluvioacustrino". Dentro del "área Huacarpay" esta unidad no está definida con respecto a su delimitación, lo que lo define como una unidad bastante extensa.
Cuaternario Lacustrino (Q-La)	Arcilla lacustrina (Ar-La)	Turba lacustrina (Tb-La)	Material de relleno	estrato y cuerpo de gran volumen que ocupa gran parte del lado Este del "área Huacarpay".
	Turba lacustrina (Tb-La)	-	Arcilla lacustrina (Ar-La)	Contenido en el la unidad "arcilla lacustrina", adquiere una extensión considerable y que se ubica a una profundidad de 4 metros con respecto al nivel actual de superficie

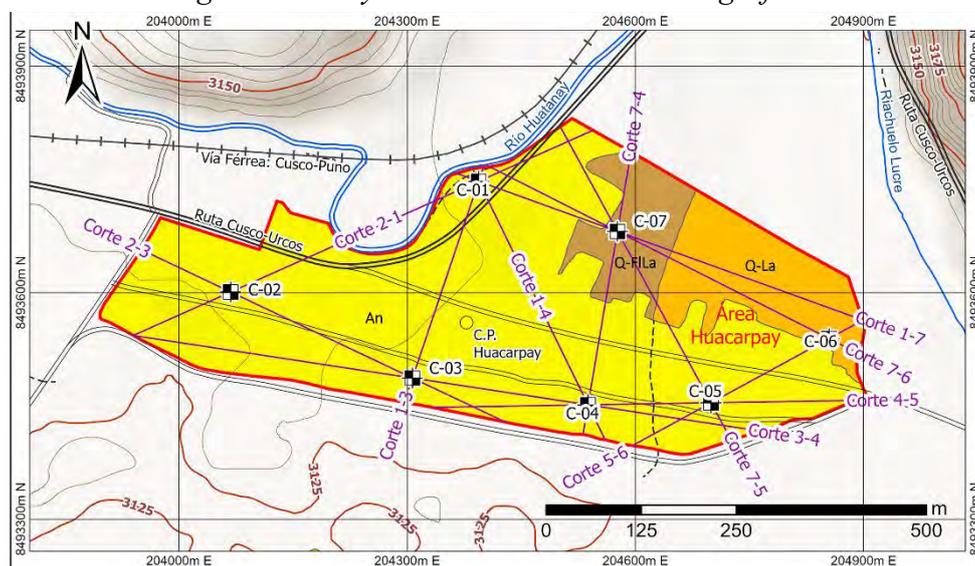
Adicional a todas las unidades descritas, cabe mencionar la existencia de varios **lentes de Limos y/o arcillas** a través de turbas (Tb-Le), cuya composición litológica depende del lugar o unidad en el que se encuentran contenidos. Dichos elementos adoptan

formas delgadas y lenticulares con espesores que rondan los 10 a 15cm, pero con extensiones horizontales altamente variables, estos cuerpos están distribuidos en todo el Área Huacarpay y a distintas profundidades, pero con una mayor presencia en el margen de depósitos cuaternarios lacustrinos (Q-La).

### 6.2.6. *Perfiles litoestratigráficos*

A partir de las calicatas de perforación y sus respectivas descripciones, se trazaron 11 perfiles litoestratigráficos dentro del “Área Huacarpay”, con el objeto de correlacionar lateralmente las unidades litoestratigráficas reconocidas en las calicatas de exploración. Estos perfiles, al trazarse sobre toda la extensión del Área Huacarpay, poseen longitudes muy extensas (desde 328.06m hasta 833.23m) si se los compara con los 3.5m a 4m de profundidad de exploración; es por ello, que se ha optado por presentar, estas las siguientes secciones, con una escala vertical ampliada por un factor de 10 con respecto a la horizontal.

*Figura 15. Proyección de cortes litoestratigráficos*



Cabe recalcar que el “Área Huacarpay”, compone solo de 3 unidades cuaternarias de un total de 12 unidades cartografiadas en la zona de trabajo local, estas unidades se subdividen en más clasificaciones, adquiriendo nombres específicos según a su tipo de

litología, en lugar de facies sedimentarias como se hizo con las unidades cuaternarias cartografiadas en planta.

Es por ello que a continuación se describen e interpretan todas estas subunidades a través de los perfiles litoestratigráficos, tomando como base al “Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)” y el “Cuaternario Lacustrino (Q-La)”.

Por otro lado, se omitirá describir e interpretar el material antrópico (An) en estos perfiles, por su nulo aporte en la interpretación y correlación litoestratigráfica del Área Huacarpay. Por último, mencionar también que las imágenes que acompañan a los siguientes perfiles se presentan con mayor detalle dentro del mapa (Gl-8) referente a perfiles litoestratigráficos.

- Corte litoestratigráfico 3-4: Proyectado a partir de las calicatas C-03 y C-04, de dirección pseudoparalela al eje OE y de 833.23m de largo, este corte litoestratigráfico compone de material “Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)” en gran parte, y una porción minoritaria de material “Cuaternario Lacustrino (Q-La)” en el margen SE del corte.

Cabe mencionar que el material Cuaternario fluviolacustrino como facie, se subdivide en dos unidades litológicas diferentes, donde la parte superior está formada por “Limos Fluviolacustrinos (Li-FILa)” de una potencia predominante de 1.5m, debajo de esta subyace una capa de “Arcillas Fluviolacustrinas (Ar-FILa)” de alta potencia que no figura en el alcance de profundidad dentro de la extensión vertical del “área Huacarpay” al igual que en los cortes siguientes a describir.

*Figura 16. Corte litoestratigráfico 3-4 (margen izquierdo)*

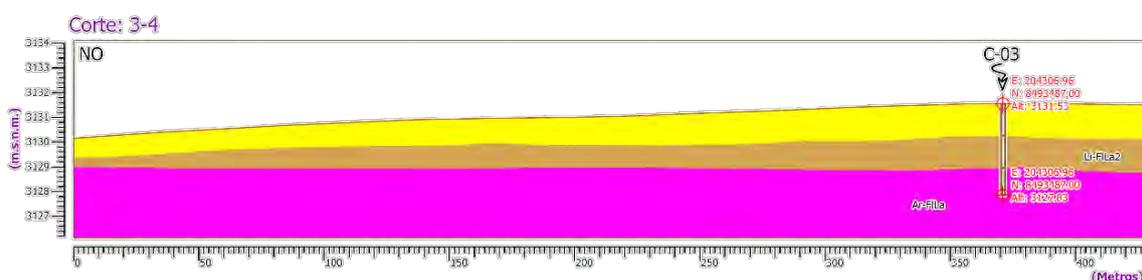
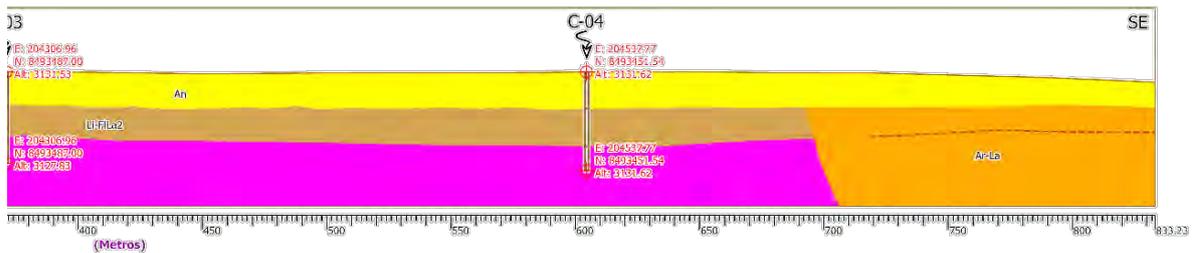


Figura 17. Corte litoestratigráfico 3-4 (margen derecho)



- Corte litoestratigráfico 2-3: Con una longitud de 530.36m, este perfil une las calicatas C-02 y C-03 que se orienta en sentido NO-SE, cuya extensión se compone de material “Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)” en forma de llanura de inundación que se subdivide en 3 unidades litológicas derivadas.

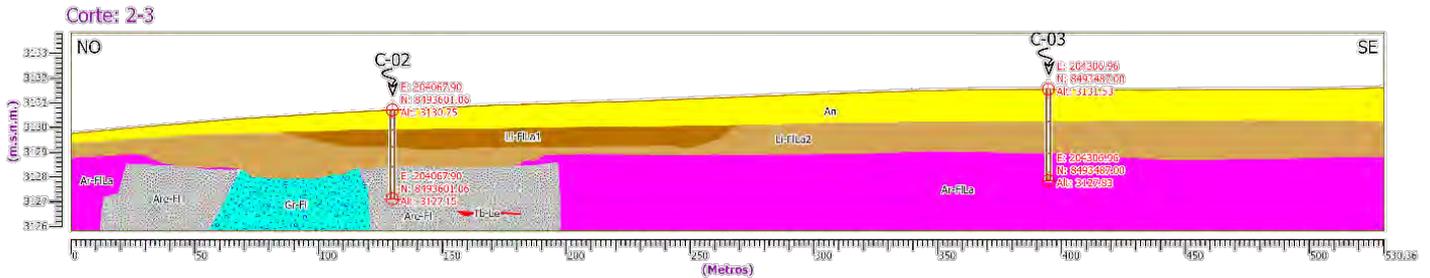
Por un lado, en el margen NO con la calicata C-02, se muestra un cuerpo lenticular de “Limo Fluviolacustrino1 (Li-FILa1)” donde predomina la presencia de arcillas sobre limos. Dicho cuerpo se encuentra contenido dentro de un estrato de “Limo fluviolacustrino 2 (Li-FILa2)” donde se da el dominio de limos arenosos sobre arcillas, a diferencia de cuerpo lenticular antes mencionado. Este detalle da a entender que el cuerpo lenticular es una distribución “pseudouniforme” de arcillas limosas producto de algún tipo de intemperización mayor a diferencia de su alrededor.

Se hace énfasis en el término “pseudouniforme” debido a que el “Limo Fluviolacustrino 2 (Li-FILa2)” posee algunos cuerpos irregulares y pequeños de limos arenosos; con arcillas en mayor proporción que la distribución general de esta, pero sin llegar al mismo grado de contenido arcillosos del “Limo Fluviolacustrino 1 (Li-FILa1)”.

Por otro lado, está la unidad litología “Arcilla Fluviolacustrina (Ar-FILa)” que se formó en las mismas condiciones que los limos arenosos antes mencionados, pero adquiriendo una composición más fina y arcillosa limosa en su totalidad debido a su antigüedad, que le dio el tiempo suficiente para intemperizarse a un grado mayor.

Estas arcillas en su tiempo, fueron la llanura fluviolacustrina de inundación del antiguo curso del río Huatanay; por lo que, se observa la sedimentación de dicho río a través de gravas (Gr-FI) y arenas fluviales (Ar-FI).

Figura 18. Corte litoestratigráfico 2-3

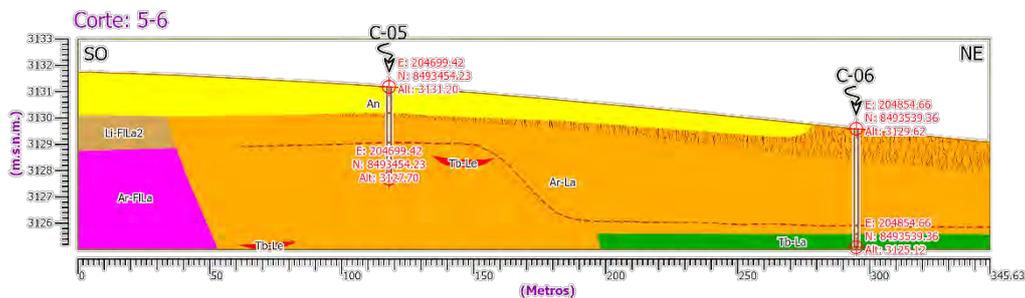


- Corte litoestratigráfico 5-6: Trazado que une las calicatas C-05 y C-06, tiene una extensión de 345.63 m y se orienta en dirección SO-NE. Litoestratigráficamente, está dominado por el material “Cuaternario Lacustrino (Q-La)” que se subdivide en un potente estrato de “Arcilla Lacustrinas (Ar-La)” y un cuerpo de “Turba Lacustrina (Tb-La)” de composición arcillosa.

Es importante mencionar que la unidad de arcillas lacustrinas presentan un **posible límite** que separa **dos tipos de arcillas** diferenciadas por su grado de composición fina y por su contrastado aspecto untuoso o plástico, el cual requiere de ensayos geotécnicos para confirmar su distinción. Esta posible diferencia figura con mayor notoriedad en el presente corte, en cada una de las calicatas que la conforman, pero a diferentes cotas (msnm) o profundidades, y con bastante desnivel entre ambos ;que, de comprobarse dicho límite, se podría demostrar la existencia de una zona de subsidencia producida por un posible reactivamiento de plano de falla que se encuentra debajo de dicho desnivel o por otro desencadenante geológico. La explicación detallada del posible origen tectónico que produjo dicho desnivel (hecho más probable de haber sucedido), se explica con más detalle en el capítulo VIII

referente a geología estructural, asumiendo que la mencionada diferencia entre arcillas exista.

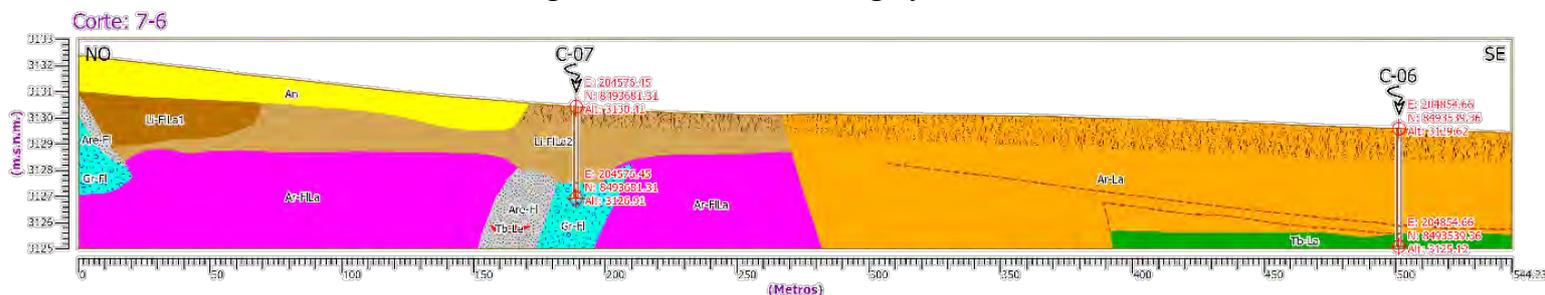
Figura 19. Corte litoestratigráfico 5-6



- Corte litoestratigráfico 7-6: Este corte atraviesa las calicatas C-07 y C-06 siguiendo una orientación NO-SE, con una longitud total de 544.23m. Litológicamente, se distribuye de una manera similar al corte litoestratigráfico 2-3, mostrando las mismas subunidades de origen fluviolacustrino, con la diferencia de presentar “Arcillas Lacustrinas (Ar-La)” y un cuerpo de turba arcillosa en el piso del estrato dentro del margen SE del corte. Esta nueva integración corresponde al material “Cuaternario Lacustrino (Q-La)” dominado por suelos finos con medio a alto contenido de material orgánico en su composición debido a la estrecha cercanía a la laguna Huacarpay.

Es en el actual corte donde se muestra de una mejor manera la proyección de la posible subsidencia detallada en el “perfil litoestratigráfico 5-6”.

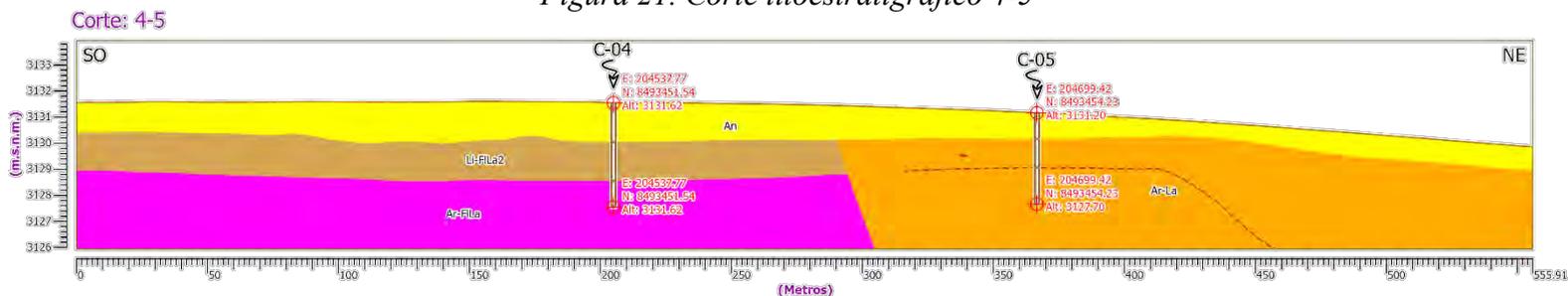
Figura 20. Corte litoestratigráfico 7-6



- Corte litoestratigráfico 4-5: Alineado en dirección pseudoparalela al eje Este - Oeste, este trazo se extiende sobre 555.91m, pasando sobre las calicatas C-04 y C-05; sus unidades litológicas se distribuyen de manera similar al anterior “perfil

litoestratigráfico 7-6” en toda su extensión vertical y horizontal, con la diferencia de que el margen fluviolacustrino (lado SO del corte) no presenta depósitos fluviales; y que el margen lacustrino (lado NE del corte) no presenta un cuerpo de turbas en la base de la unidad, además de mostrar la proyección de la posible zona de subsidencia.

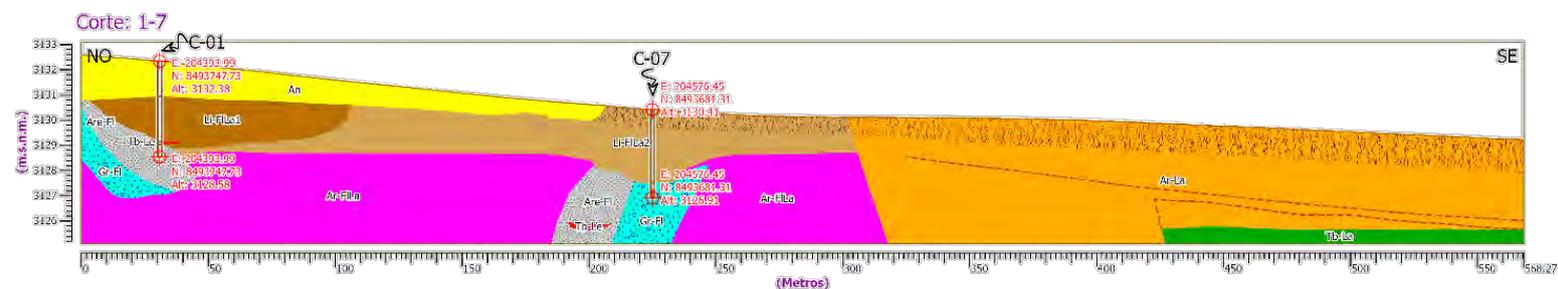
Figura 21. Corte litoestratigráfico 4-5



- Corte litoestratigráfico 1-7: Perfil que pasa por las calicatas C-01 y C-07, posee una dirección NO-SE y una longitud de 568.27m. Las unidades y distribución litoestratigráfica de este perfil son muy similares al “Corte litoestratigráfico 7-6”, definiéndose ambos como secciones que presentan unidades fluviolacustrinas en el margen NO y Lacustrinas en el lado SE con la posible zona de subsidencia.

Un cambio que se evidencia en este perfil (1-7) son los depósitos fluviales del actual río Huatanay, que se muestra con mayor presencia a comparación del corte 7-6, a través de gravas y arenas fluviales con la característica “desviación” vertical muy frecuente en ríos meandriformes; y para este caso, pseudomeandriforme.

Figura 22. Corte litoestratigráfico 1-7

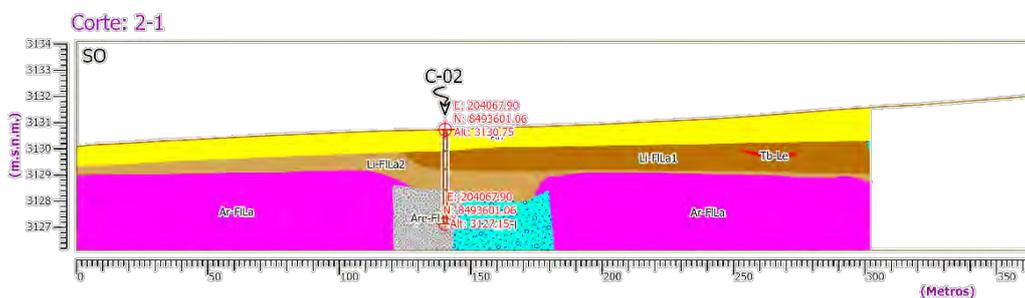


- Corte litoestratigráfico 2-1: Con una longitud de 662.56m, este perfil atraviesa las calicatas C-02 y C-01 manteniendo una dirección SO-NE; dentro de su extensión,

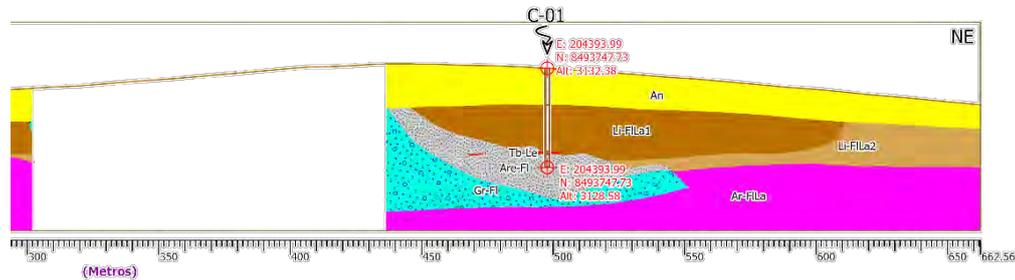
posee un espacio vacío debido al corte de este perfil, que atraviesa la proyección vertical de la distribución geométrica superficial del Área Huacarpay.

Ambas mitades se encuentran dentro del “Material Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)” cuyas subdivisiones se distribuyen de manera igual a las unidades detalladas anteriormente a través de los márgenes NO (fluviolacustrinos) de los cortes litoestratigráficos 2-3, 7-6 y 1-7. Con ligeras diferencias en sus distribuciones geométricas vistas en perfil, por el cambio de vista.

*Figura 23. Corte litoestratigráfico 2-1 (margen izquierdo)*



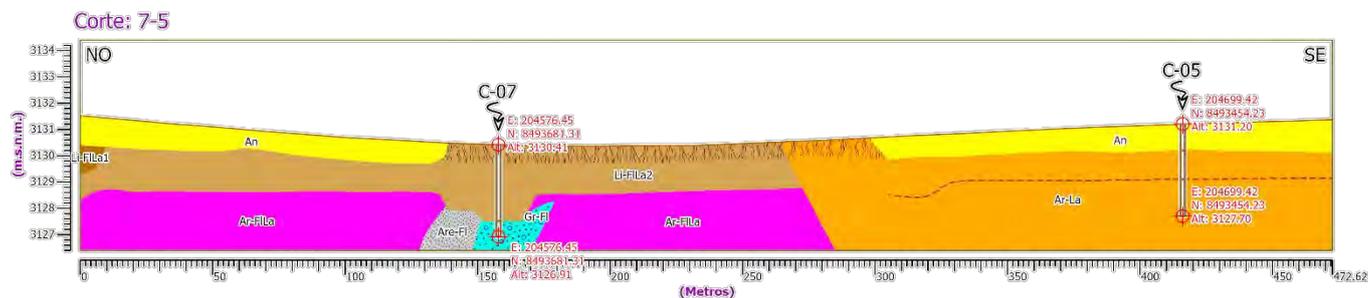
*Figura 24. Corte litoestratigráfico 2-1 (margen derecho)*



- Corte litoestratigráfico 7-5: Perfil que conecta las calicatas C-04 y C-05, orientado en dirección NO-SE; con una longitud de 472.62m, muestra una distribución similar a las secciones litoestratigráficas 7-6 y 1-7, incluido a las facies sedimentarias (Q-FILa en el margen NO y Q-La en el lado opuesto); con la diferencia de no mostrar las unidades fluviales del actual río Huatanay y el cuerpo de turba en el piso del estrato lacustrino. Es en esta sección donde también se observa la proyección de posible zona de subsidencia mencionada en el corte litoestratigráfico 4-5 pero con un menor

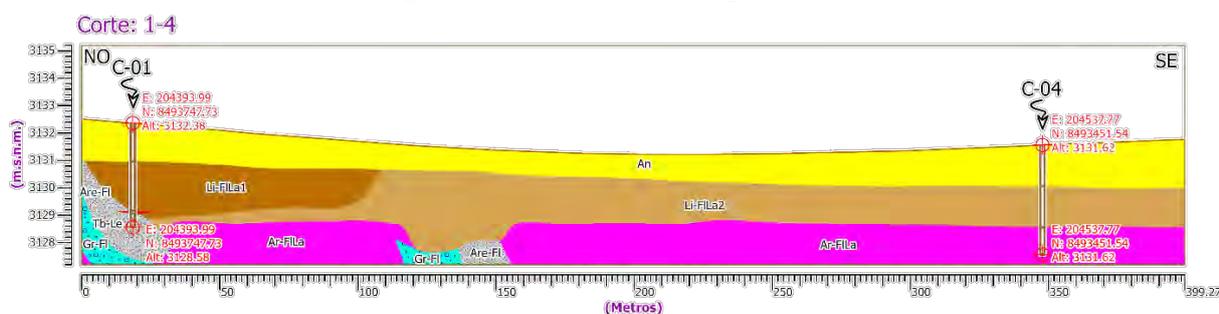
desnivel, mostrando que dicha irregularidad disminuye en dirección perpendicular o NE con respecto al rumbo del corte 5-6, hasta llegar a un ras estratigráfico.

Figura 25. Corte litoestratigráfico 7-5



- Corte litoestratigráfico 1-4: Trazado entre las calicatas C-01 y C-04, este perfil presenta una dirección NO-SE y una extensión de 399.27m que se asemeja en toda su distribución al corte litoestratigráfico 2-3, con la diferencia de que esta sección (1-4), presenta la sedimentación del actual río Huatanay a través de Arenas fluviales (Are-FI) y gravas fluviales (Gr-FI) en el lado NO del corte. Mostrando a la vez, que toda esta sección corresponde a la unidad “Cuaternaria Fluviolacustrina (Q-FILa) dentro del Área Huacarpay.

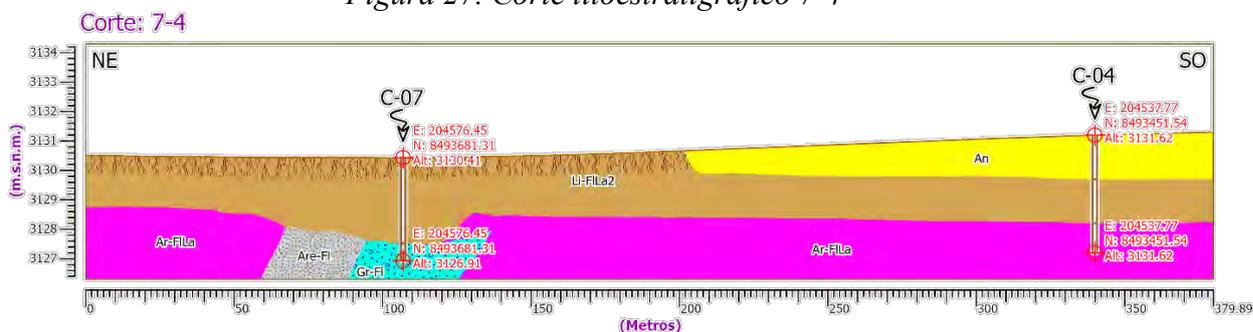
Figura 26. Corte litoestratigráfico 1-4



- Corte litoestratigráfico 7-4: Perfil trazado entre las calicatas C-07 y C-04, con orientación NE-SO y de 379.89m de longitud. Litoestratigráficamente, este perfil se compone de manera similar al corte litoestratigráfico anterior (1-4), con la diferencia de que este perfil 7-4 no presenta un cuerpo lenticular de limo fluviolacustrino 1 (Li-FILa1) y tampoco depósitos del actual río Huatanay a través de las unidades arena

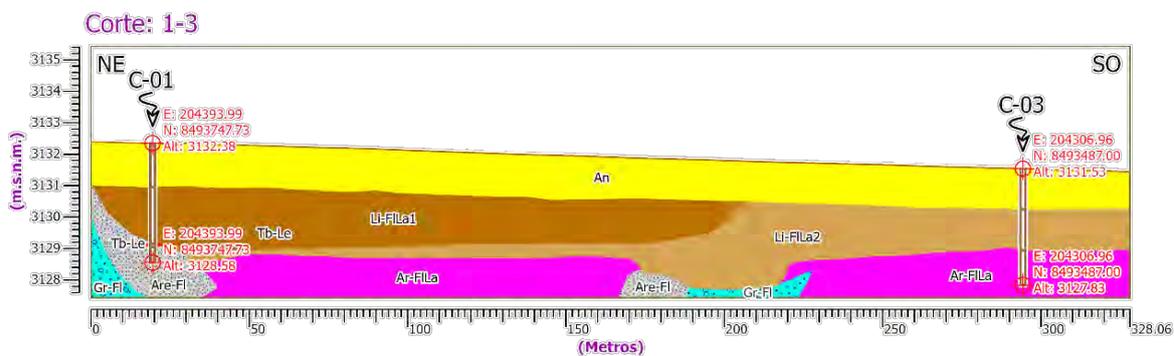
fluvial (Are-Fl) y grava fluvial (Gr-Fl). Ambos perfiles son derivados del material cuaternario Fluvioacuático (Q-FILa) solamente.

Figura 27. Corte litoestratigráfico 7-4



- Corte litoestratigráfico 1-3: Perfil trazado entre las calicatas C-01 y C-03, de orientación NE-SO y longitud de 328.06m. Se compone de igual manera al corte litoestratigráfico 1-4, tanto en composición litológica, facie sedimentaria y distribución espacial.

Figura 28. Corte litoestratigráfico 1-3

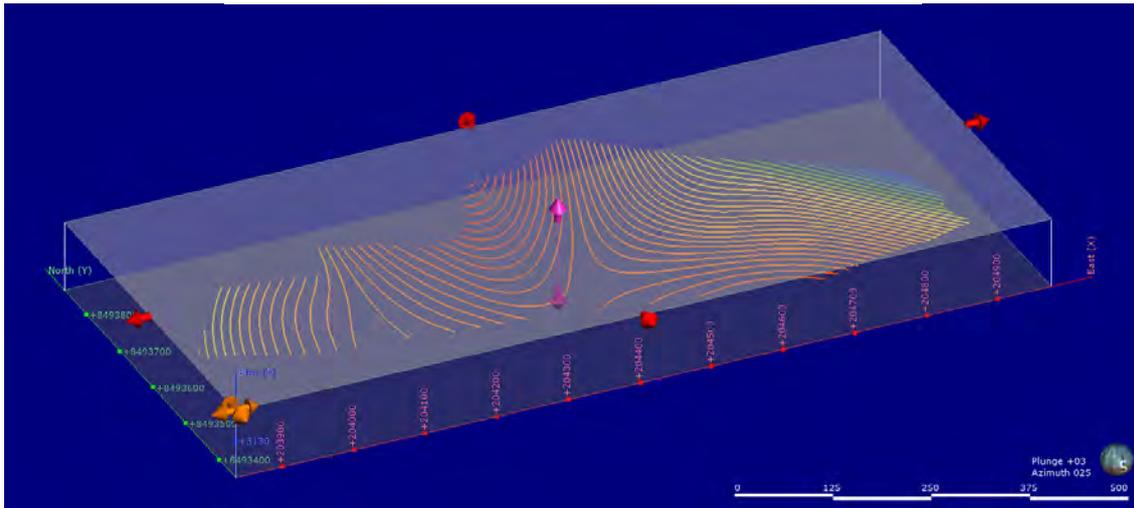


### 6.2.7. Modelamiento tridimensional explícito litoestratigráfico

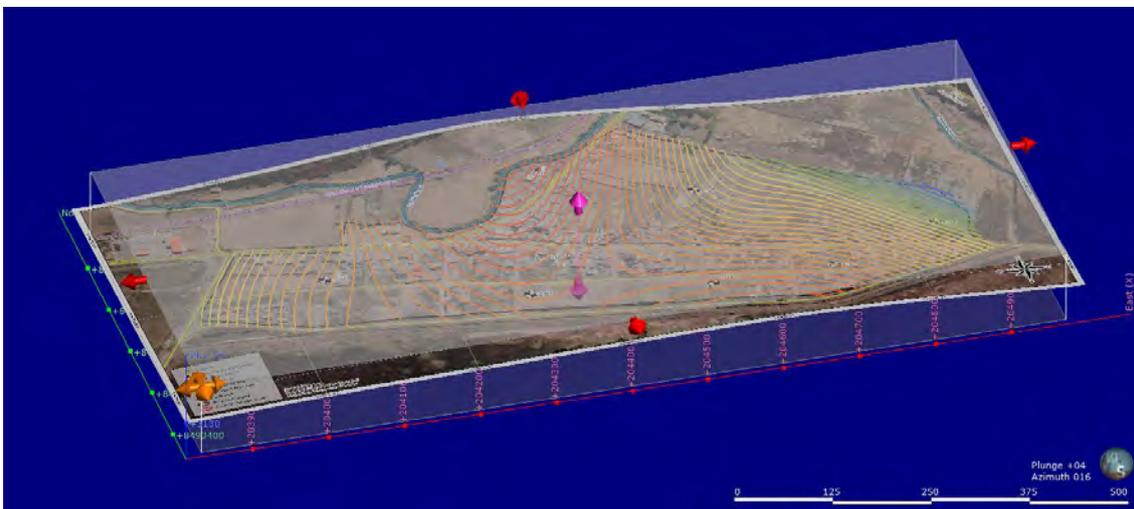
Con toda la información estudiada, interpretada y correlacionada hasta el momento se procedió a dibujar unidades tridimensionales en base a los perfiles litoestratigráficos, dicho proceso se ejecutó en el software Leapfrog Geo y el proceso seguido se muestra a continuación.

1. Definición de dimensionamiento de trabajo en base a curvas de nivel: Las curvas de nivel usadas para este proceso, son las del Área Huacarpay (detallado en el ítem 5.2.1. referente a topografía y relieve local). En base a estas curvas de nivel se crea una un modelo de superficie que también define las dimensiones de estudio para los dibujos 3D.

*Figura 29. Delimitación de modelo 3D*

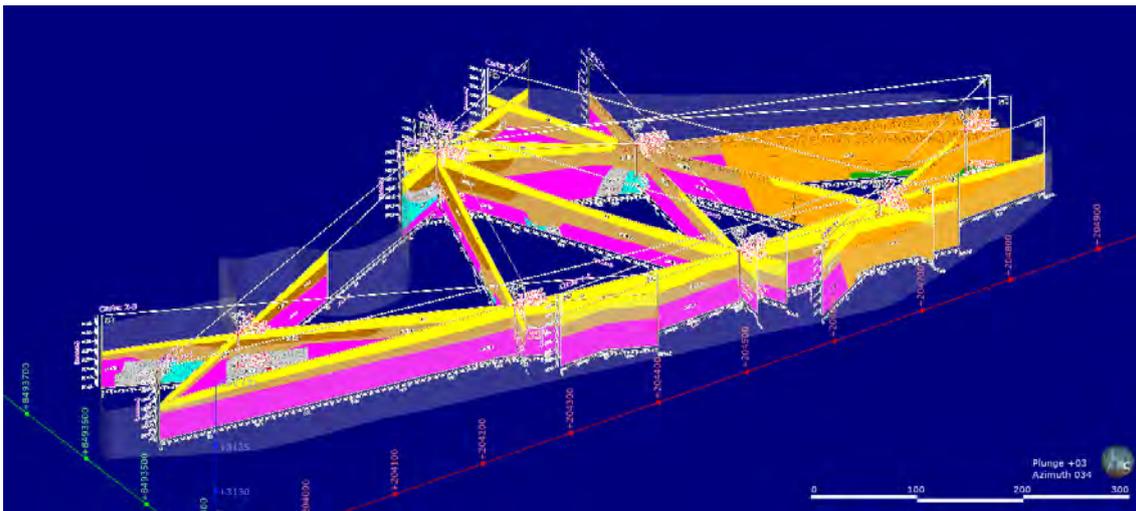


*Figura 30. Delimitación de modelo 3D*



2. Importación de perfiles litoestratigráficos: Con las dimensiones establecidas es que se puede empezar a trazar los dibujos 3D. Pero, debido a que estos trazos necesitan un base sobre el cual dibujarse, se realiza la importación de perfiles.

Figura 31. Importación de secciones litoestratigráficas



3. Dibujo 3D: Con las secciones importadas como base de dibujo, se puede iniciar el dibujo de todas las unidades; correlacionando esta vez y tridimensionalmente, los perfiles litoestratigráficos.

Como ejemplo de secuencia de dibujado, se mostrará a la correlación geoespacial entre las cortes litoestratigráficos 1-4 y 7-5.

Figura 32. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 1

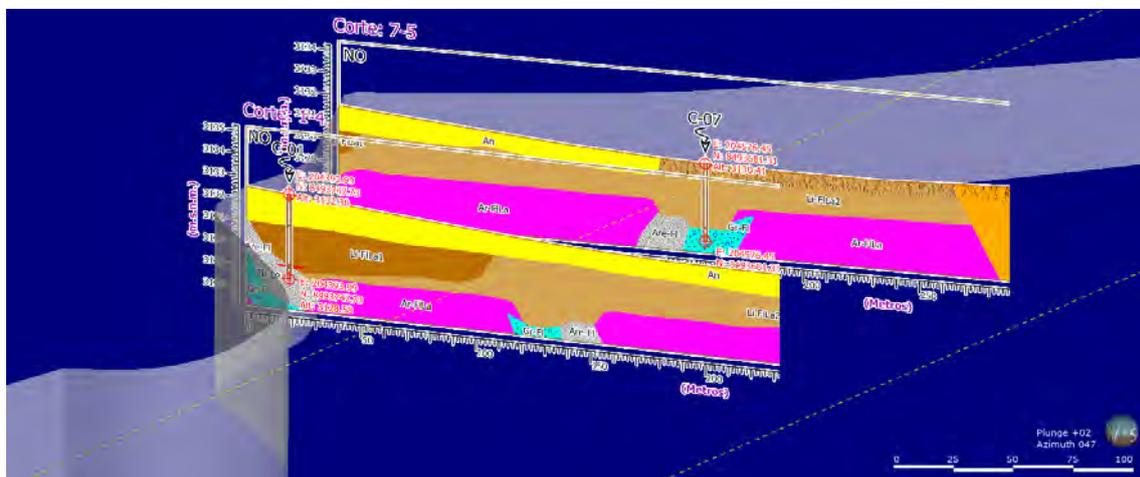


Figura 33. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 2

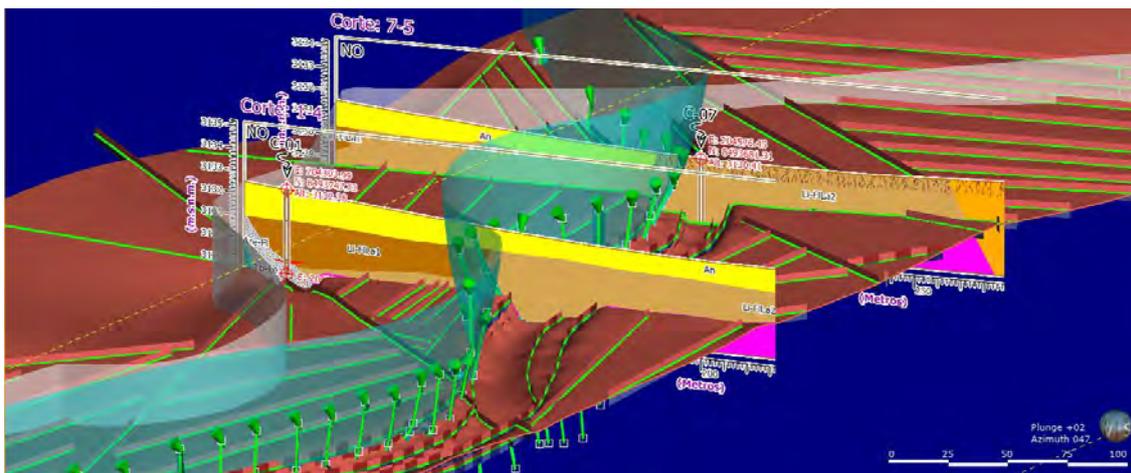


Figura 34. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 3

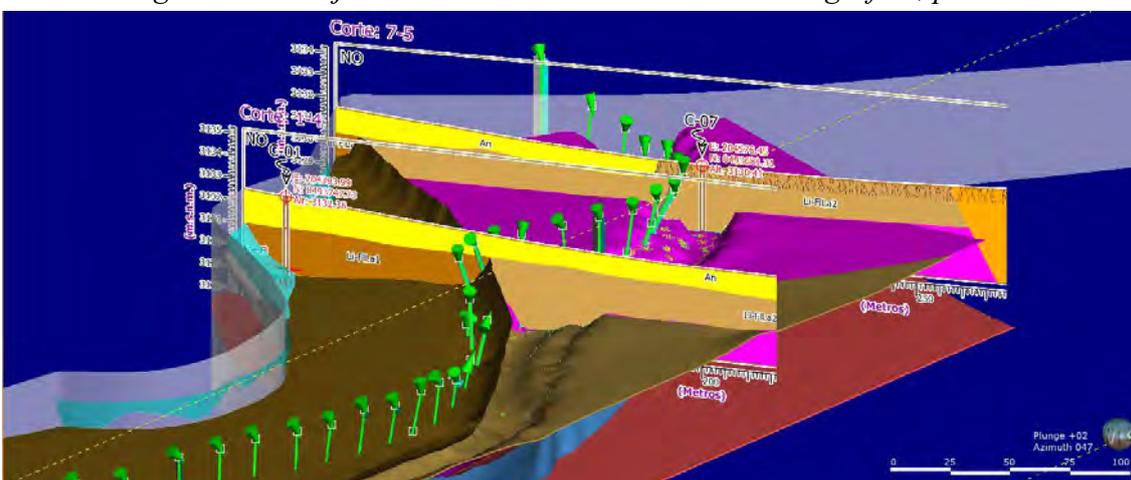
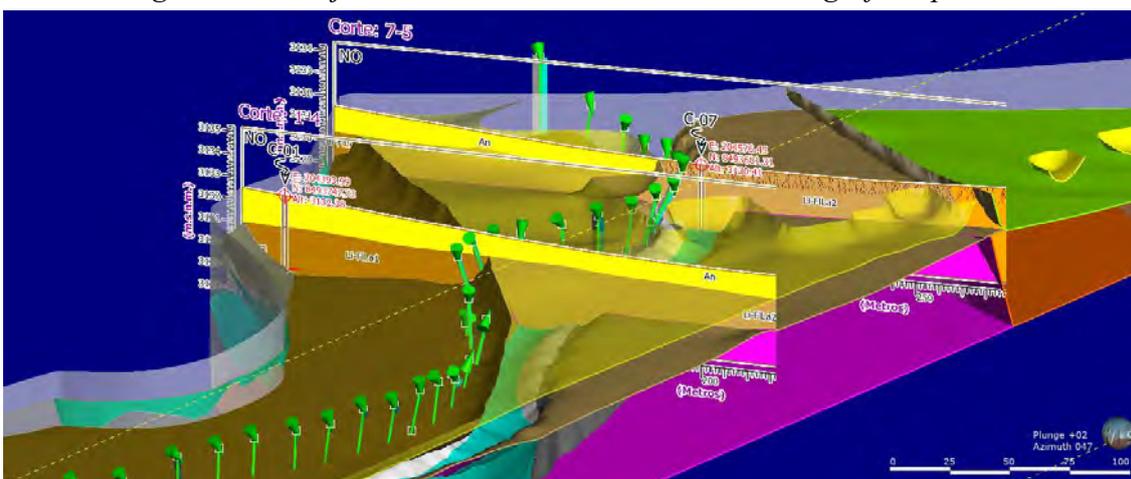


Figura 35. Dibujo tridimensional de unidad litoestratigráfica, paso 4



Siguiendo la última secuencia de dibujo, se completó los trazos 3D de las demás unidades como se muestra en las siguientes imágenes.

Figura 36. Unidades inferiores del modelo litoestratigráfico 3D

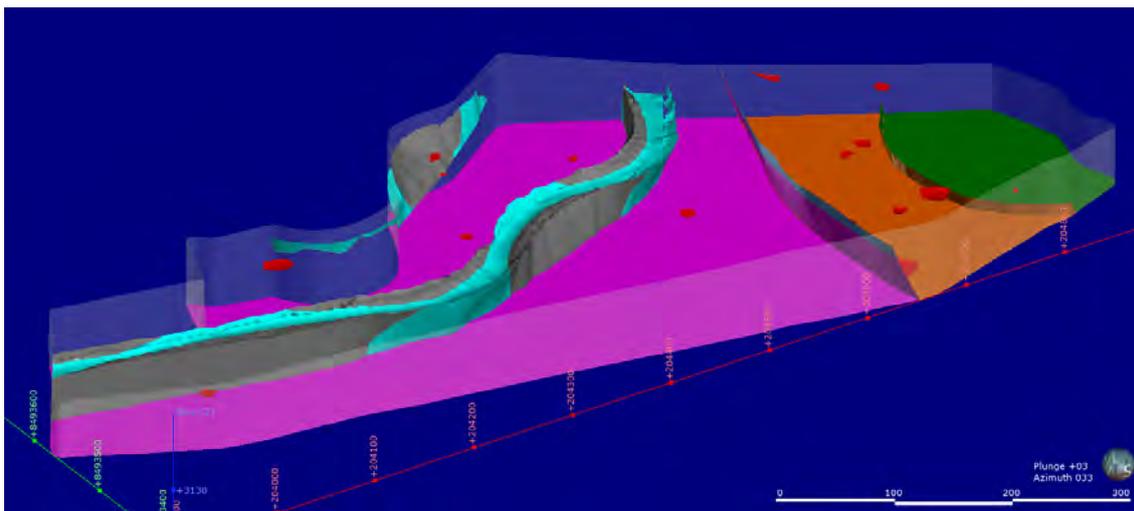


Figura 37. Unidades intermedias del modelo litoestratigráfico 3D

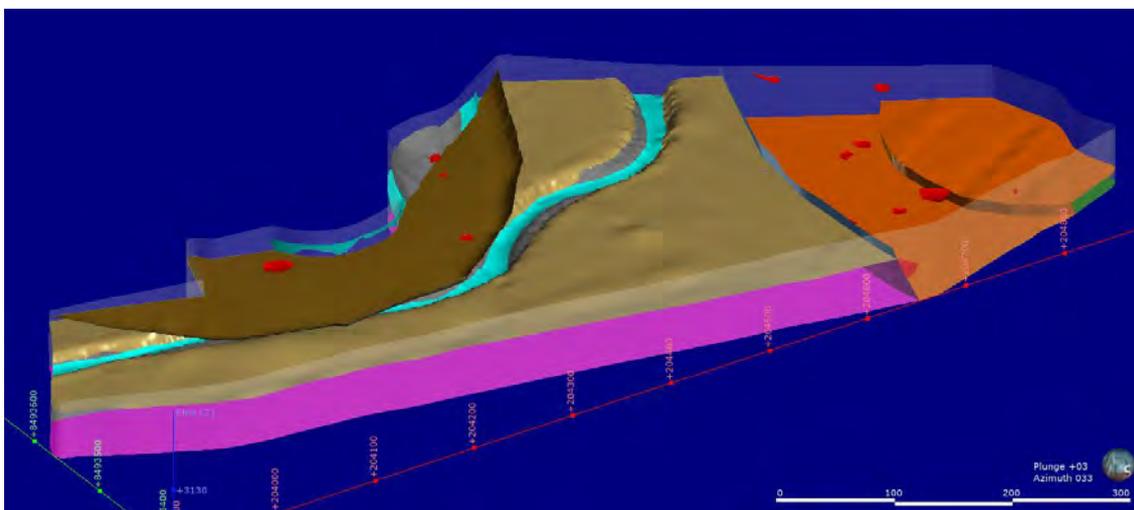
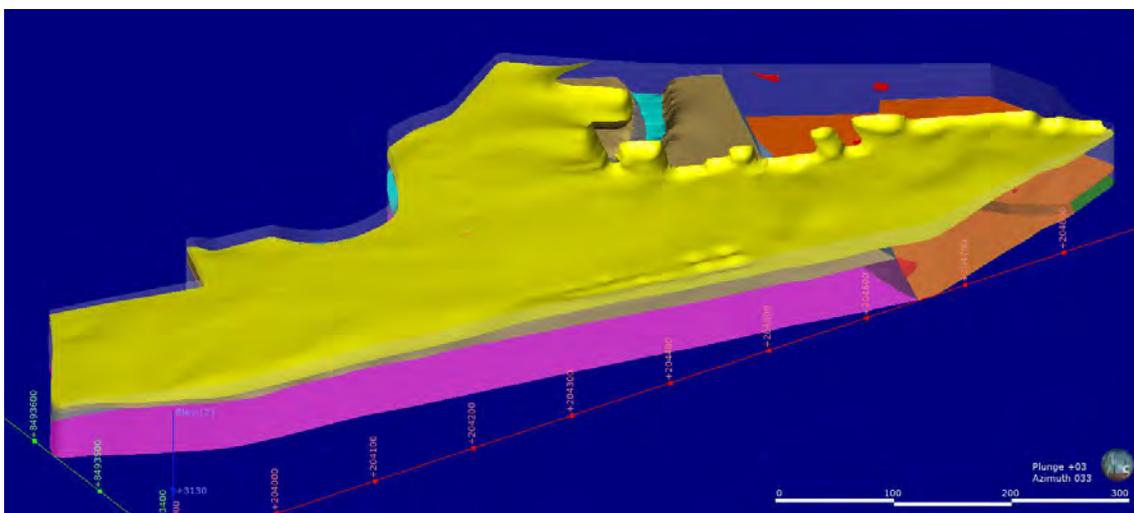
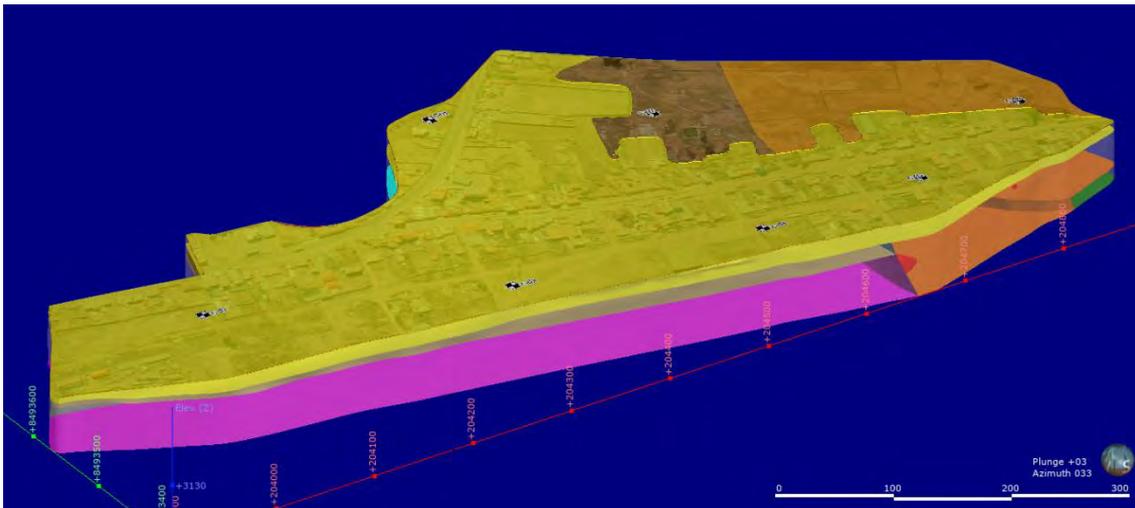


Figura 38. Unidades superiores del modelo litoestratigráfico 3D



*Figura 39. Modelo litoestratigráfico 3D final*



### **6.2.8. Aportes litoestratigráficos para la zonificación geotécnica**

Con el modelo litoestratigráfico tridimensional se ha obtenido un “primer escenario de zonificación” luego de una serie de interpretación en base a un contexto regional, cartografiado local y análisis e interpretación litoestratigráfica de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay. A dicho modelo se añadirá información referente a los capítulos de geología estructural, análisis de niveles freáticos y geotecnia para elaborar un modelo geotécnico 3D final, del cual se extraerán 2 mapas de zonificación al cortarse con dos planos transversales a 1.50m y 3.50m de profundidad.

Cabe recalcar que queda pendiente la confirmación de la zona de subsidencia con la confirmación de distintos tipos de arcilla según a su plasticidad dentro del capítulo IX referente a geotecnia; así mismo, la interpretación del posible desencadenante que lo originó dentro del capítulo VII de geología estructural.

## VII. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 7.1. Contexto geológico estructural regional

#### 7.1.1. Fundamentos

En base a lo señalado en el “Boletín N° 138 Serie A de INGEMMET”, el cuadrángulo geológico de Cusco presenta 4 dominios estructurales; de los cuales, la zona de estudio regional presenta 3 de estos (Cordillera Oriental, Altiplano y Zona Intermedia Altiplano – Cordillera Oriental), las cuales delimitan las mismas extensiones que los dominios morfoestructurales mencionados en el apartado de “Contexto geomorfológico Regional” en el ítem (5.1.).

Desde el Devónico hasta inicios del Cuaternario, la actividad tectónica en la zona de estudio regional, estuvo dominado por esfuerzos compresionales, generados por el levantamiento andino de la cordillera oriental y con ella el sistema principal de fallas inversas “Urcos – Sicuani – Ayaviri” (USA) de dirección NO-SE. En dicho sistema se encuentra, con gran notoriedad y presencia, la falla inversa Cusco, con plano de falla de altos buzamientos y de dirección NE; que hace a la vez, hace de límite entre los dominios estructurales Altiplano y zona intermedia Altiplano - Cordillera Oriental, recorriendo un tramo que se extiende desde la meseta de Sacsayhuaman hasta Urcos aproximadamente. Cabe aclarar que esta falla Cusco es una extensión del sistema USA, por lo que se considera como parte de esta, a pesar de que dicho sistema indique abarcar una extensión desde Urcos hasta Ayaviri.

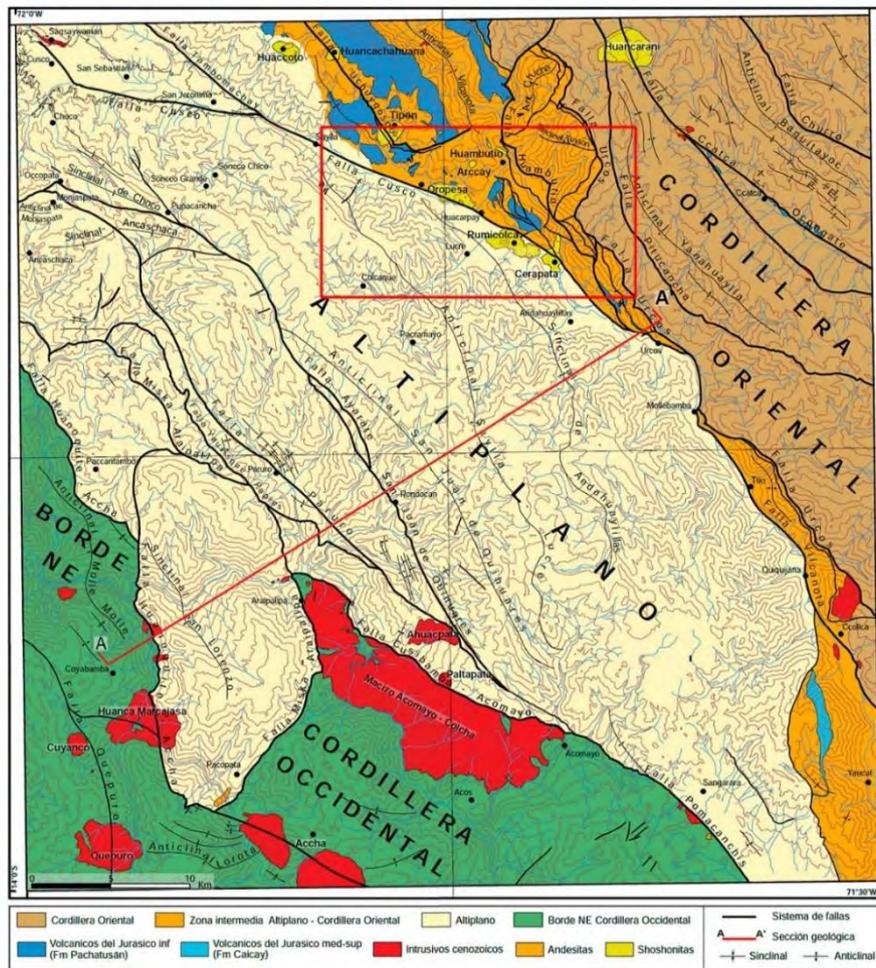
Toda esta actividad compresional tuvo un cambio de régimen tectónico, de compresional a extensional radial con su foco dentro del dominio “zona intermedia Altiplano - Cordillera Oriental”, en el pleistoceno inferior a inicios del cuaternario debido al colapso gravitacional de la cordillera oriental (~2.5Ma). Esto produjo que parte del

sistema de fallas compresionales se reactivaran en movimientos normales, entre ellas, la falla inversa Cusco, así como la generación de otras nuevas locales.

### **7.1.2. Dominios estructurales**

- Altiplano: Dominada por fallas profundas de orientación NO-SE, abarca la parte izquierda inferior de la zona de trabajo regional. Su configuración estructural es resultado de movimientos compresivos durante la tectónica andina, seguido por ajustes isostáticos que lo moldearon al relieve actual, una “relativamente” llana.
- Cordillera Oriental: Abarcando el margen derecho superior de la zona de estudio regional, presenta plegamientos intensos y cabalgamientos con dirección predominante NO – SE, asociados a esfuerzos compresivos derivados de la convergencia de placas. Su núcleo está compuesto por rocas paleozoicas intensamente deformadas, con un levantamiento sostenido desde el Paleógeno hasta el Neógeno, formando un relieve montañoso complejo.
- Zona Intermedia Altiplano - Cordillera Oriental: Zona intermedia que actúa como una franja de transición entre el Altiplano y la Cordillera Oriental, influenciada por fallas importantes como la falla Cusco. Originalmente deformada por esfuerzos compresivos en el Neógeno, esta región experimentó un cambio a un régimen extensional radial en el Pliocuaternario, formando estructuras complejas como sigmoides, depresiones y sistemas de fallas normales.

Figura 40. Dominios estructurales regionales



Nota. El polígono rojo dentro de la imagen representa la zona regional de estudio para el presente trabajo // Fuente. Cardenas Roque, Carlotto Caillaux, & Carlier, 2011

### 7.1.3. Neotectónica regional

Luego del cambio de régimen tectónico durante el Pliocuaternario ( $\sim 0.7\text{Ma}$ ), partes de la falla inversa Cusco y el sistema de fallas USA, se reactivaron con movimientos normales y fuerzas extensionales radiales, abriendo paso al surgimiento del volcánico monogénético Rumicolca a través de aberturas y grietas reactivadas en su plano de falla. Junto a estas unidades también se da el paso a la generación de nuevas fallas normales, de misma dirección y hasta superpuestas, durante todo el cuaternario hasta la actualidad; de los cuales, las más restantes, generadas sobre el sistema USA y

relacionadas a ella (dentro de la zona de trabajo regional) son la falla Tambomachay, falla Ccatca y el sistema de fallas Pachatusán. (mapa G1-6).

Por otro lado, en la zona de estudio también se muestra distintos puntos alineados de extracción de gas Radón del subsuelo, elaborados por INGEMMET, para la identificación de alineamientos de falla y/o recientes los cuales poseen una dirección NE-SO que corta perpendicularmente a las fallas cuaternarias antes descritas, dando a entender que dicha secuencia de puntos se traduce en alineamientos, pudiendo ser simples fracturas o fallas recientes y activas.

Además, es importante mencionar que según los boletines “Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 55. Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco” y “Geología del Cuadrángulo de Cusco N° 138, serie A”, ambos de INGEMMET; la falla inversa Cusco también estuvo sujeto a reactivaciones tectónicas con fuerzas distensivas, pero de una manera segmentada con respecto a toda la extensión de su plano de falla. Se menciona este detalle debido a que la zona regional de trabajo posee un segmento de la falla inversa Cusco como una posible falla reactivada con cinemática normal, cuyo movimiento pudo haber desencadenado en colapsos kársticos o colapsos de espacios vacíos en las unidades rocosas del grupo Copacabana (calizas), así como posibles reacomodos en dicho grupo u otras formaciones que yacen encima, dicho colapso al proyectarse hacia depósitos cuaternarios en la superficie, produce zonas de subsidencia como en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay (evidencia detallada en el apartado 6.2.5. referente a perfiles litoestratigráficos, donde aún está sujeto a comprobarse en base a la distinción de tipos de arcilla). Para un mejor entendimiento Ver fig. 41 y 42.

Figura 41. Proyección de la falla inversa Cusco, vista en planta

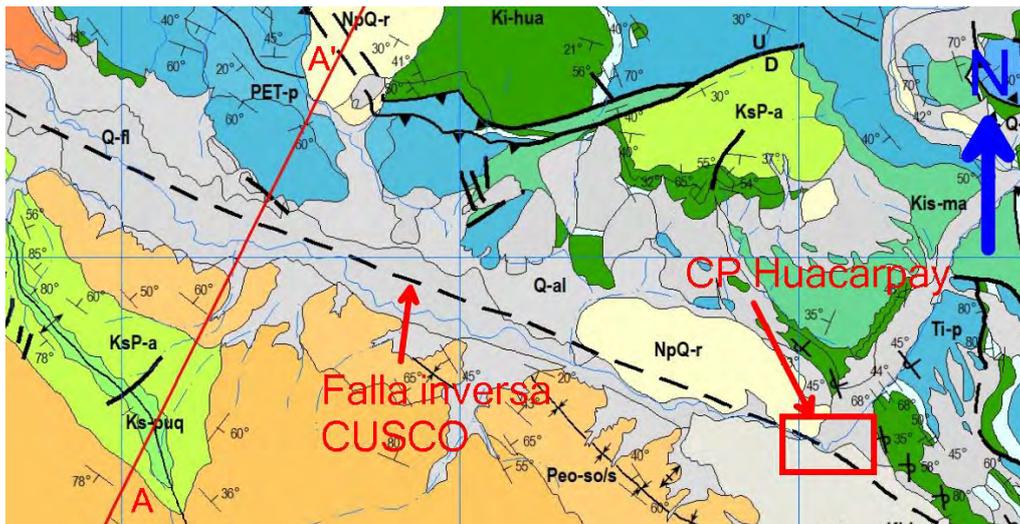
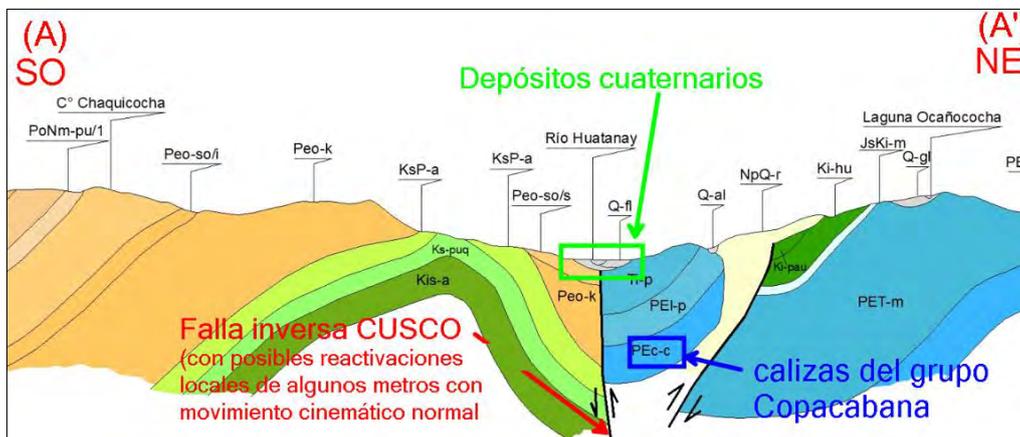


Figura 42. Proyección de la falla Cusco, vista en perfil



## 7.2. Geología estructural local

### 7.2.1. Fundamentos

La zona local de estudio presenta un sistema sedimentario lacustre – fluvial con una colina baja volcánica compuesta de la formación Rumicolca (NpQ-Ru) al NO del centro poblado Huacarpay, esta colina presenta algunas fracturas y diaclasas entrecruzadas perpendicularmente; mas no, fallas importantes o resaltantes.

En contraparte, en el lado Este del centro poblado Huacarpay, se encuentra una franja de montaña baja sedimentaria estructural formada por la formación Huancané (Ki-Hu). Esta formación rocosa presenta diversas fallas inversas y pliegues con indicios de pequeños cabalgamientos, dichas estructuras tienden a tomar una tendencia (SO – NE).

A su vez, dicha formación también presenta diversas fallas normales con las mismas direcciones y algunas en cuña si se proyectan con el grupo de fallas inversas, producto del cambio de régimen, de compresional a extensional ocurrido en el Pliocuatrnario. Todo este conjunto se encuentra acompañado con diversas fracturas, y familias de diaclasas entrecruzadas.

Por otro lado, en la extensión de la llanura lacustre – fluvial se encuentra la proyección de la antigua falla inversa Cusco, pudiendo tener segmentos de saltos de falla reactivados y proyectados en los depósitos cuaternarios de la zona local de estudio.

### ***7.2.2. Unidades geológicas estructurales***

Luego de un cartografiado en la zona local de estudio, se pudo observar una contrastada diferencia en el número de estructuras geológicas dentro de la colina Rumicolca y la franja de montaña Huancané. Por lo que, todas las estructuras a continuación fueron halladas en la montaña estructural mencionada, a excepción de la falla cuaternaria y proyectada Cusco, que repercute en una zona de subsidencia dentro de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay. Todas estas estructuras están acompañadas de dos principales familias de diaclasas y se muestran gráficamente en el mapa G1-7.

- Fallas geológicas
  - a) Fallas inversas: Formadas principalmente en el Eoceno medio a Oligoceno, durante la fase de deformación principal del levantamiento andino, estas poseen una tendencia conjunta de dirección SO – NE en la zona local de trabajo; es decir, localmente las estructuras halladas cortan en dirección perpendicular a la dirección general del sistema de fallas regionales USA. Este detalle da a entender que son fallas menos antiguas referente a las importantes regionales de dirección NO – SE y

que surgieron como estructuras de segundo orden, obteniendo saltos de fallas diversos, desde decenas de centímetros hasta algunos metros.

Dentro del mapeado geológico local, estas estructuras son representadas a través de las fallas F4 y F5, al SE del centro poblado Huacarpay cuyas direcciones se muestran en el cuadro siguiente.

*Tabla 20. Fallas inversas locales*

<b>Unidades geológicas estructurales locales</b>		
Estructura	Tipo	Descripción
F4	Inversa	Dirección: N41° / 62°SE
F5	Inversa	Dirección: N39° / 72°SE

- b) Fallas normales: Formadas producto del cambio de régimen compresional a extensional durante el Pliocuaternario, estas presentan una tendencia también de SO – NE en la zona local de trabajo, pero con algunas que se intersecan entre sí en forma de cuña. Estas al ser recientes y algunas aun activas, adquieren saltos de falla no tan considerables como las inversas. Según el mapeado geológico local, estas fallas son representadas con las fallas F1, F2 y F3 cuyas direcciones se detallan a continuación.

*Tabla 21. Fallas normales locales*

<b>Unidades geológicas estructurales locales</b>		
Estructura	Tipo	Descripción
F1	Normal	Dirección: N230°/79°NO
F2	Normal	Dirección: N85°/57°SO
F3	Normal	Dirección: N40°/65°SE

- c) Falla proyectada: De dirección NO – SE, esta estructura figura como una sola que atraviesa toda la zona local de estudio, como una proyección de la falla inversa Cusco que tiene un recorrido de varios kilómetros. Con el cambio de régimen, varios segmentos del plano de la falla inversa Cusco fueron reactivados traducándose en fallas locales normales.

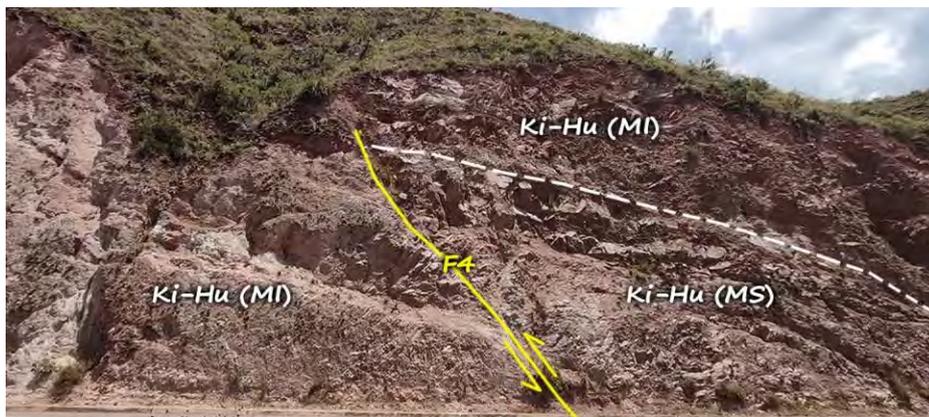
En base al criterio expuesto, hay una gran probabilidad y sustento en mencionar que un segmento de la falla Cusco reactivada generó reacomodos y/o colapsos kársticos en las formaciones calcáreas que yacen debajo del centro poblado Huacarpay, el cual generó declives y/o hundimientos (zonas de subsidencia) en los suelos de fundación, dicha evidencia se muestra en el “Perfil Litoestratigráfico 5-6” detallado en el apartado 6.2.6. referente a perfiles litoestratigráficos.

Cabe recalcar que dicha ocurrencia aún está sujeta a comprobarse con el ensayo de clasificación de suelos según SUCS, abarcado en el capítulo posterior IX, referente a Geotecnia.

*Fotografía 39. Vista en perfil de la falla normal local F3*



*Fotografía 40. Vista en perfil de la falla inversa local F4*



- d) Pliegues: Estas estructuras se perciben de manera conjunta con las fallas inversas en la franja de montaña de la formación Huancané, adquiriendo curvaturas abiertas o de bajo ángulo. Por lo que adquieren pequeñas extensiones y se interpretan como estructuras originadas al mismo tiempo que las fallas inversas; dentro del mapa geológico G1-7, estas estructuras tienen las siguientes características.

*Tabla 22. Pliegues locales*

Unidades geológicas estructurales locales		
Pliegue	Tipo	Descripción
P1	Anticlinal	Recto, poco pronunciado y con plano axial de rumbo N46°E
P2	Anticlinal	Inclinado y con plano axial de dirección N230°/40°NO
P3	Anticlinal	Poco inclinado y con plano axial de dirección N235°/64°NO
P4	Sinclinal	Recto, poco pronunciado y con plano axial de rumbo N41°E

*Fotografía 41. Vista en perfil de pliegues locales*

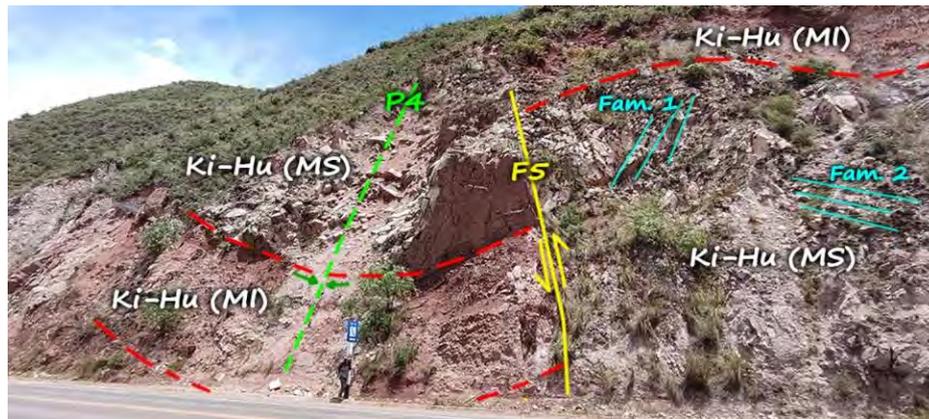


- e) Diaclasas: Se presenta junto a las estructuras detalladas en la parte superior de este apartado, presenta dos familias principales, producto de intensa actividad tectónica en esta zona. Dichas direcciones se redactan a continuación.

*Tabla 23. Familias de diaclasas*

Unidades geológicas estructurales locales		
Estructura	Tipo	Descripción
Familia 1 (Fam 1)	Diaclasa	Dirección: N283°/60°NE
Familia 2 (Fam 2)	Diaclasa	Dirección: N07°/23°SE

Fotografía 42. Vista en perfil de estructuras geológicas locales



### 7.2.3. Correlación e interpretación de unidades geológicas estructurales

La zona local de estudio compone de 3 subgrupos de estructuras geológicas basadas en sus condiciones y periodos de formación. El 1er subgrupo y el más antiguo corresponde a las fallas inversas dentro de la franja de montaña Huancané, estas se originaron durante el levantamiento andino de la cordillera oriental con fuerzas compresionales de dirección SO-NE, que son fuerzas heredadas de 2do orden, originados de la tendencia principal de esfuerzos de dirección de 1er orden NO-SE junto al sistema USA, que también definió el límite entre los dominios estructurales regionales de la Cordillera Oriental y Zona Intermedia Altiplano - Cordillera Oriental. Es aquí donde la falla inversa Cusco toma su participación y origen al ser una falla importante que ocupa gran parte de esta extensión.

Con el cambio de régimen tectónico, de compresional a extensional dentro del dominio zona intermedia altiplano - cordillera oriental; el plano de la falla inversa Cusco tuvo reactivaciones segmentadas sobre un plano de falla general y proyectado sobre unidades cuaternarias. Dentro de la zona local de estudio dicha proyección se dio sobre los depósitos Fluviolacustrinos (Q-FILa) y Lacustrinos (Q-La). Siendo una posible evidencia de ello, la zona de subsidencia identificado por los distintos tipos de arcilla que aun este sujeto a comprobarse (2do subgrupo).

Cabe mencionar que el cambio de régimen también dio origen al surgimiento de nuevas fallas normales de dirección NO-SE como el sistema de fallas Tambomachay, falla Pachatusán y falla Ccatcca que los podríamos definir de 1er orden; donde las fallas normales halladas dentro de la franja Huancané en la zona local de estudio (3er subgrupo), son una herencia de esfuerzos de segundo orden.

#### ***7.2.4. Aportes geológicos estructurales para la zonificación geotécnica***

La reactivación de la falla inversa Cusco desencadenó en una zona de hundimiento y/o subsidencia en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay (asumiendo que el límite entre dos tipos de arcilla exista), lo cual genera cambios sobre la distribución tridimensional de unidades litológicas del modelo litoestratigráfico 3D, actualizándose con nueva información y adquiriendo un detalle mayor con respecto a los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay para su zonificación geotécnica.

Cabe mencionar también que las otras unidades geoestructurales, al presentarse sobre la franja de montaña media al NE del centro poblado y en la formación Huancané, muestran que no tienen una influencia directa sobre los suelos de fundación y con ella, en la zonificación geotécnica final, pero su entendimiento aporta en el origen y contexto de la falla Cusco reactivada,

## VIII. ANÁLISIS DE NIVELES FREÁTICOS

### 8.1. Nivel freático

Para el Área Huacarpay, los niveles freáticos fueron identificados a través de las calicatas de exploración hechas en campo, estas lecturas se muestran a continuación.

*Tabla 24. Niveles freáticos*

Calicata	Coordenadas de calicatas			NF
	E (m)	N (m)	altura (m.s.n.m.)	Prof. (m)
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38	3.8
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75	3.2
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53	2.6
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52	3.1
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20	3.5
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62	3.0
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41	3.0

Cabe mencionar que, las maneras en la que los niveles freáticos se muestra no es la misma para todos los puntos de exploración.

Para las calicatas C-02, C-03, C-04, C-05 y C-07, las superficies freáticas se muestran como espejos de agua visibles a cierta profundidad. En cambio, para la calicata C-01, el nivel freático es apreciable de manera indirecta mediante la auscultación PDL realizado en la base de la calicata, donde al sacar la varilla luego del ensayo, esta se mostró mojada. Además de que, pasado unos minutos de haber aperturado la calicata, la base de esta, paso a presentar un aspecto mucho más húmedo que su apariencia inicial.

Por otro lado, en la calicata C-06, el nivel freático se muestra a través de un estado saturado pero impermeable dentro del estrato de arcilla densa de alta plasticidad (CH), mostrando un contrastado cambio de humedad en su pared de estrato a partir de 3.0 metros de profundidad con respecto al nivel de superficie.

## 8.2. Infiltración

Con el equipo “Infiltrómetro de anillo doble” se hizo el ensayo de percolación o infiltración sobre 3 puntos en la zona de estudio local representado por los puntos P-01, P-02 y P-03, visibles en la siguiente figura.

*Figura 43. Puntos de infiltración en la zona de estudio local*



*Fuente. Google Earth*

- Punto de infiltración P-01: Ubicado al Este del Área Huacarpay, este punto compone de una velocidad de infiltración de 1.8 cm/h, clasificándose como una infiltración moderadamente lenta debido a la composición fluviolacustrina compuesta de limos arenosos con arcilla.

*Tabla 25. Ensayo de infiltración para el punto P-01*

ENSAYO DE INFILTRACION P-01 (N8493646, E203915)							
N°	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)			VEL. INFIL. (cm/hora)	
	Parcial	Acumulado	Lectura	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado
1	0	0	31.500	0.000	0.000	0.000	0.000
2	5	5	31.300	0.200	0.200	2.400	2.400
3	5	10	31.100	0.200	0.400	2.400	2.400
4	5	15	30.900	0.200	0.600	2.400	2.400
5	15	30	30.350	0.550	1.150	2.200	2.300
6	40	70	29.250	1.100	3.800	1.650	3.257
7	30	100	27.700	1.550	3.150	3.100	1.890
8	20	120	27.250	0.45	3.600	1.350	1.800

Fotografía 43. Vista panorámica del punto P-01



Fotografía 44. Vista cercana del punto P-01



- Punto de infiltración P-02: Situado en el sector Oeste del área Huacarpay, presenta una velocidad de infiltración de 0.48 cm/h, lo que le da una clasificación de infiltración lenta, debido a la naturaleza lacustrina de sus sedimentos, los cuales están formados por arcillas limosas con un elevado contenido de materia orgánica en su composición.

Tabla 26. Ensayo de infiltración para el punto P-02

ENSAYO DE INFILTRACION P-02 (N8493554, E204844)							
N°	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)			VEL. INFIL. (cm/hora)	
	Parcial	Acumulado	Lectura	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado
1	0	0	32.500	0.000	0.000	0.000	0.000
2	5	5	32.000	0.500	0.500	6.000	6.000
3	10	15	31.700	0.300	0.800	1.800	3.200
4	20	35	31.400	0.300	1.100	0.900	1.886
5	35	70	31.000	0.400	1.500	0.686	1.286
6	65	135	30.900	0.100	1.600	0.092	0.711
7	115	250	30.500	0.400	2.000	0.209	0.480

*Fotografía 45. Vista panorámica del punto P-02*



*Fotografía 46. Vista cercana del punto P-02*



- Punto de infiltración P-03: Localizado en la parte central superior del Área Huacarpay, este sector registra una infiltración de 2.014 cm/h, valor que se considera representativo de una infiltración moderadamente lenta a moderada. Esta condición está directamente relacionada con la naturaleza de la composición fluviolacustrina de la zona, compuesto principalmente por limos arenosos con arcillas en su composición.

*Tabla 27. Ensayo de infiltración para el punto P-03*

ENSAYO DE INFILTRACION P-03 (N8493678, E204615)							
N°	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)			VEL. INFIL. (cm/h)	
	Parcial	Acumulado	Lectura	Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado
1	0	0	31.300	0.000	0.000	0.000	0.000
2	5	5	30.900	0.400	0.400	4.800	4.800
3	10	15	30.450	0.450	0.850	2.700	3.400
4	30	45	29.850	0.600	1.450	1.200	1.933
5	25	70	28.950	0.900	2.350	2.160	2.014

*Fotografía 47. Vista en campo de punto P-03*



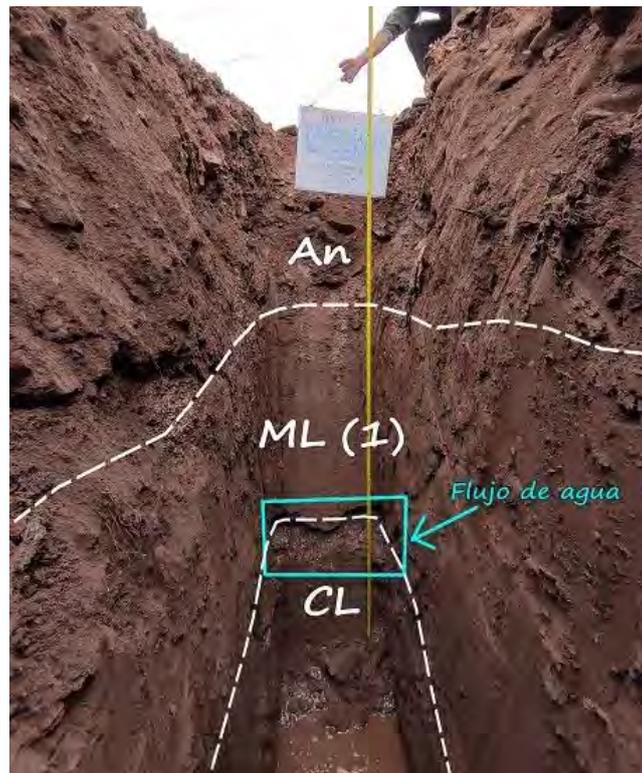
*Fotografía 48. Vista cercana del punto P-03*



### **8.3. Correlación e interpretación de niveles freáticos e infiltraciones**

Los grados de infiltración se contrastan en dos grupos principales de acuerdo a los depósitos lacustrinos y fluviolacustrinos que toman gran presencia en los suelos superficiales de fundación del centro poblado Huacarpay. No obstante, sus velocidades de percolación van de medianamente lenta a muy lenta infiltración, lo que da a entender que en general, estas velocidades cambian según a su composición litológica. Esta definición explica las diferentes maneras de presentación de niveles freáticos en la zona; donde incluso, en la calicata C-03 se muestra flujos de agua intermedios, recorriendo contactos litoestratigráficos debido a sus permeabilidades contrastadas como se muestra en la siguiente figura.

*Fotografía 49. Vista de corrientes de agua en pared de calicata*



Estos flujos de agua en paredes de calicatas, se muestran más de una vez, aunque con menos notoriedad, en otros puntos ajenos al del ejemplo mostrado.

De acuerdo a toda esta interpretación es que se puede concluir y decir que los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay, contienen un nivel freático siempre presente, que en épocas de lluvia se recargan considerablemente, además de mantener cuerpos retenidos de agua en unidades porosas pero impermeables como las arcillas orgánicas de alta plasticidad (turba) o mantener flujos subsuperficiales o cuerpos estancados de agua que en los límites litoestratigráficos de contrastadas permeabilidades, sin mencionar la influencia del nivel de base de la laguna Huacarpay. Es por toda esta interpretación que, se define a las aguas subsuperficiales de la zona de estudio, como heterogéneos, variables y con una presencia constante.

#### **8.4. Aportes de análisis niveles freáticos en la zonificación geotécnica**

El comportamiento altamente errático de los niveles freáticos en la zona de estudio hace que se opte por considerar un escenario de suelos de fundación con un nivel freático a 1m de profundidad promedio, esta consideración hace que también se calculen sus capacidades admisibles y asentamientos totales en su escenario más crítico, dicho calculo se dará dentro del siguiente capítulo IX referente a Geotecnia.

Por otro lado recordemos que, para el presente trabajo de investigación, se consideró completar la caracterización geológica (estudio geológico) del centro poblado Huacarpay con la integración de los capítulos geomorfología, litoestratigrafía, geología estructural y análisis de niveles freáticos. Por lo que, al haber finalizados estos capítulos se tiene el escenario litoestratigráfico 3D, caracterizado completamente bajo el estudio geológico; quedando pendiente solo la integración de todos los resultados a obtener dentro del capítulo de IX de Geotecnia (estudio geotécnico).

## IX. GEOTECNIA

### 9.1. Fundamentos

El presente capítulo detalla los trabajos de campo, laboratorio y gabinete realizados para caracterizar las propiedades físicas, mecánicas y parámetros geotécnicos de las muestras de suelo obtenidas del ambiente lacustre-fluvial del "Área Huacarpay" y su caracterización geológica. Estas características y parámetros geotécnicos nos darán idea del comportamiento ante cargas estáticas y dinámicas para garantizar la integridad de las construcciones actuales y futuras de la zona de estudio.

Se definen parámetros geotécnicos de capacidad de resistencia, los asentamientos esperados y aceleraciones sísmicas críticas, siendo evaluados de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Edificaciones (Norma E.050 y E.030). Estos parámetros permitirán la zonificación geotécnica de los suelos de fundación a las profundidades de 1.50m y 3.50m mostrando la variación de capacidades admisibles y magnitudes de asentamientos.

El procedimiento empleado integra trabajos de campo, laboratorio y gabinete. En la etapa de campo se realizó el ensayo de Penetración Dinámica Ligera (PDL) y la exploración mediante la apertura de 07 calicatas, donde se obtuvo muestras representativas para la caracterización física (humedad, granulometría, densidad y límites de consistencia) y mecánica (corte directo, consolidación edométrica). Todos estos datos son procesados en laboratorio y mediante diferentes softwares en gabinete (ver ítem 4.2) para así generar la zonificación geotécnica del "área de Huacarpay".

### 9.2. Equipos

#### 9.2.1. *Equipo de laboratorio y campo*

- 02 balanzas de precisión 0.01g, 0.1g y 1.00g.
- 01 horno de secado.
- 01 juego de tamices (N°200, N°100, N°60, N°40, N°16, N°8, N°4, 3/8", 1/2" y 3/4").

- 01 equipo completo de copa de Casa Grande.
- 01 equipo completo de corte directo
- 01 equipo completo Edométrico.
- 01 equipo completo de DPL (Penetrómetro Dinámico Ligero).
- 10 cilindros de pared delgada

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la empresa PRO INGEMA SAC.

### **9.3. Investigación de la zona de estudio**

#### ***9.3.1. Reconocimiento geológico local de la zona de estudio***

Se realizó una caracterización geológica desarrollada del Área Huacarpay en los capítulos 5 al 9, resultando en un ambiente lacustre-fluvial con una topografía relativamente llana, litoestratigráficamente heterogénea, de baja permeabilidad y con aguas subsuperficiales altamente erráticas y variables, lo que sugiere suelos de comportamiento complejo y variable, donde la interacción suelos-estructura (capacidad de carga) y la estabilidad están comprometidas por las estratificaciones de suelos blandos e intermedios y además de niveles freáticos fluctuantes. Por lo que es pertinente la realización de cálculos de resistencia al corte, consolidación de suelos y un análisis sísmico.

#### ***9.3.2. Trabajo de campo***

En el Capítulo 6 se detalla la litoestratigrafía del “Área Huacarpay” a través de las 7 calicatas de exploración para determinar su ambiente geológico y sedimentario local y secuencia estratigráfica. En el presente Ítem se detalla los ensayos de campo realizados en los mismos puntos de exploración del Área Huacarpay, donde se realiza el ensayo de Penetración dinámica Ligera (DPL), muestreo estratigráfico, determinación de densidad

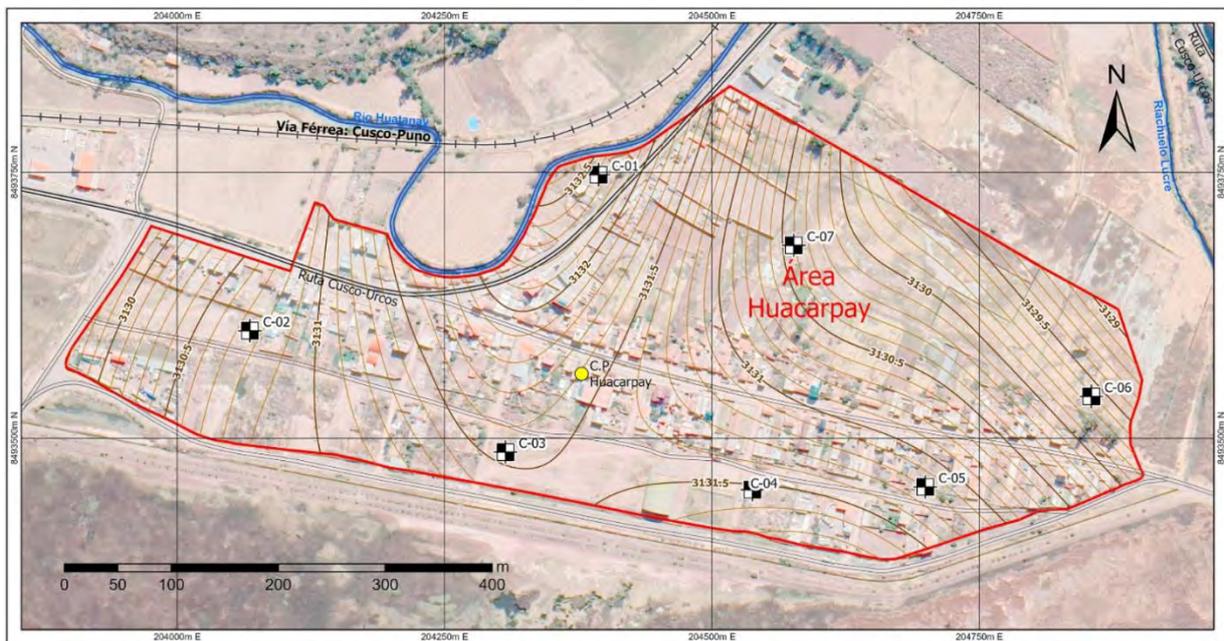
de campo para así caracterizar el comportamiento mecánico de los suelos y proporcionar parámetros confiables para el análisis geotécnico posterior.

A continuación, se muestra el siguiente cuadro se muestran las coordenadas UTM y características de los puntos estudio evaluados:

*Tabla 28. Coordenadas de exploración de calicatas de exploración*

CUADRO DE COORDENADAS UTM DE CALICATAS DE EXPLORACION					
CALICATA	NORTE	ESTE	COTA	CUADRANTE	FINALIDAD
C-01	8493747.73 S	204393.99 E	3132.377 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-02	8493601.06 S	204067.90 E	3130.753 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-03	8493487.00 S	204306.961 E	3131.532 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-04	8493451.54 S	204537.773 E	3131.524 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-05	8493454.23 S	204699.423 E	3131.195 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-06	8493539.36 S	204854.657 E	3129.619 m.s.n.m.	19 L	Cimentación
C-07	8493681.31 S	204576.451 E	3130.412 m.s.n.m.	19 L	Cimentación

*Figura 44. Calicatas de exploración en el Área Huacarpay*



*Nota. Para una mejor referencia, la figura se muestra con una imagen de Google Maps Satélite*

*Fotografía 50. Excavación de las calicatas con su respectiva georreferenciación.*



### **9.3.3. Ensayos de campo**

Para garantizar la rigurosidad de los ensayos en campo, se emplearán los protocolos normativos de las Normativas Técnicas Peruanas (NTP). Las normas específicas para cada ensayo se encuentran resumidas en la siguiente tabla.

*Tabla 29. Ensayos utilizados en campo*

<b>Ensayo de Campo</b>	<b>Norma</b>
Penetrometro Dinamico Ligero (DPL)	NTP 333.159
Identificación y Muestreo de campo	NTP 339.150

*Fuente. Normativas Técnicas Peruanas (NTP).*

1. Penetrómetro Dinámico Ligero (PDL) NTP 339.159: El ensayo del Penetrómetro Dinámico Ligero (DPL) está incluido en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), específicamente en la norma técnica E-050 de Suelos y Cimentaciones. Este ensayo permite hincar una punta cónica de 90° en el suelo, utilizando un martillo de 10 kg que cae libremente desde 50 cm. La prueba se realiza en tramos de 10 cm y permite obtener un registro continuo de la resistencia del terreno a la penetración.

Se realizaron 07 pruebas de DPL para determinar la resistencia del suelo de cimentación (blando o rígido), verificar la continuidad de los suelos e inferir el tipo

de perfil de suelo de acuerdo al número de golpes. Las pruebas de DPL se ensayaron en todas las calicatas de exploración.

De la inspección, se pudo observar que las calicatas de estudio presentan solo una variación estratigráfica contrastada entre extremos finos y granulares, pero guardando una similitud dentro de cada grupo. Presentan arenas, limos y arcillas por lo que al realizar el ensayo de DPL en los estratos de la zona de estudio, los números de golpes varían desde 3 a 16 golpes por cada 10cm de auscultación, según a su composición fina o granular.

*Fotografía 51. Ensayo de PDL en calicatas de exploración*



Existen correlaciones para determinar el valor "N<sub>60</sub>" de resistencia a la penetración estándar (SPT) en función del tipo de suelo por cada 30 cm de hincado. De esta correlación se obtiene el perfil de tipo de suelo según la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente", constatando que sectores de las calicatas C-03, C-04, C-05 y C-06 son suelos Blandos (S3) y los sectores C-01, C-02 y C-07 son suelos blandos (S3) e Intermedios (S2).

Las tablas 30 y 31 muestran correlaciones empíricas entre Penetrómetro Dinámico Ligero (PDL), que registra el número de golpes N10 para 10 cm de

auscultación, y el Standard Penetration Test (SPT), que expresa el número de golpes de  $N_{SPT}$  para una penetración de 30cm.

Las correlaciones mostradas en las columnas de la tabla derivan de estudios específicos en diferentes tesis de grado. El valor de  $N_{SPT}$  mostrado en la ultima columna es el valor promedio de la integración de los cuatro autores referenciados, obteniéndose un resultado más consensuado.

*Tabla 30. Correlación del DPL y el ensayo de SPT, 1*

CALICATA	PROF. (cm)	Nº golpes DPL N10	N30	Ortiz Yovera, Segundo Carlos 2020	Germán Luis y Perez Piero (tesis 2019)	Flores Waldo y Chávez jorge (Tesis 2019)	Atala C. (tesis 2011)	$N_{SPT}$
C-01	10	4	15	10	11	11	12	<b>11</b>
	20	5						
	30	6						
	40	8	30	20	24	19	17	<b>20</b>
	50	10						
	60	12						
	70	12	38	25	30	23	21	<b>25</b>
	80	12						
90	14							
C-02	10	7	27	18	21	17	16	<b>18</b>
	20	9						
	30	11						
	40	11	37	24	29	23	20	<b>24</b>
	50	13						
	60	13						
	70	14	41	27	33	25	22	<b>27</b>
	80	14						
C-03	10	4	11	7	8	9	10	<b>9</b>
	20	3						
	30	4						
	40	5	14	9	11	10	11	<b>10</b>
	50	4						
	60	5						
	70	4	14	9	11	10	11	<b>10</b>
	80	5						
	90	5						
	100	5	16	10	12	12	12	<b>12</b>
	110	6						
120	5							

*Nota. Basada en correlaciones empíricas propuestas por Ortiz Yovera (2020), Germán Luis y Pérez Piero (2019), Flores Waldo y Chávez Jorge (2019), y Átala C. (2011)*

Tabla 31. Correlación del DPL y el ensayo de SPT, 2

CALICATA	PROF. (cm)	Nº golpes DPL N10	N30	Ortiz Yovera, Segundo Carlos 2020	Germán Luis y Perez Piero (tesis 2019)	Flore Waldo y Chávez jorge (Tesis 2019)	Atala C. (tesis 2011)	NSPT
C-04	10	3	11	7	8	9	10	<b>9</b>
	20	4						
	30	4						
	40	5	16	10	12	12	12	<b>12</b>
	50	6						
	60	5						
	70	6						
	80	5	16	10	12	12	12	<b>12</b>
	90	5						
	100	6						
C-05	10	4	14	9	11	10	11	<b>10</b>
	20	5						
	30	5						
	40	6	17	11	13	12	12	<b>12</b>
	50	6						
	60	5						
	70	6	18	12	14	13	13	<b>13</b>
	80	6						
	90	6						
C-06	10	4	15	10	11	11	12	<b>11</b>
	20	5						
	30	6						
	40	6	19	12	15	13	13	<b>13</b>
	50	6						
	60	7						
	70	7	20	13	16	14	14	<b>14</b>
	80	6						
	90	7						
	100	7	22	14	17	15	14	<b>15</b>
	110	8						
120	7							
C-07	10	8	32	21	25	20	18	<b>21</b>
	20	12						
	30	12						
	40	14	46	30	37	28	24	<b>30</b>
	50	16						
	60	16						

Nota. Basada en correlaciones empíricas propuestas por Ortiz Yovera (2020), Germán Luis y Pérez Piero (2019), Flores Waldo y Chávez Jorge (2019), y Átala C. (2011)

2. Muestreo de suelos: Se acopiaron muestras de suelo de las calicatas excavadas, siguiendo las pautas de la norma E.050. Para el estrato del suelo de cimentación, se extrajeron uno o dos tipos de muestras según su naturaleza:
- Muestras alteradas Mab: obtenidas en bolsas y representativas del suelo en su estado natural.
  - Muestras inalteradas Mib: obtenidas en bloques y cilindros de pared delgada para preservar su estructura original.

*Fotografía 52. Extracción de muestras representativas en bloques y cilindros de pared delgada*



La elección de estos dos tipos de muestras se debe a la naturaleza cohesiva y friccionaste de los suelos presentes en la zona de estudio (Gravas, arenas, limos y arcillas).

#### **9.3.4. Ensayos de laboratorio**

Para garantizar los correctos procedimientos de cada método de ensayo, se emplearán los protocolos normativos de la NTP y el ASTM. Las normas específicas para cada ensayo se encuentran resumidas en la siguiente tabla.

*Tabla 32. Ensayos utilizados en laboratorio*

<b>Ensayos de Laboratorio</b>	<b>Norma</b>
Humedad Natural	NTP-339.127
Análisis Granulométrico.	NTP-339.128
Límites de Consistencia	NTP-339.129
Corte Directo (Consolidado drenado)	ASTM D-3080
Peso volumétrico de suelo cohesivo	NTP 339.139 /BS 1377
Densidad aparente	ASTM C-29/C-29M-97
Consolidación	NTP-339.154

*Nota. Adaptado de INACAL*

3. Contenido De Humedad Natural: En el presente estudio, se ejecutó el ensayo de determinación del contenido de humedad, con el propósito de cuantificar el porcentaje de agua presente en una muestra de suelo.

Para tal fin, se procedió a la extracción de muestras representativas del suelo, posteriormente, se aplicó un método estandarizado, basado en la norma NTP 339.127. Los resultados del ensayo muestran el contenido de humedad natural en la siguiente tabla.

*Tabla 33. Tabla de contenido de humedad*

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>HUMEDAD NATURAL</b>
Calicata "C-01-E2"/MA/Prof.1.40-3.20 m	24.3%
Calicata "C-01-E1"/MA/Prof.3.30-3.80 m	25.2%
Calicata "C-02-E3"/MA/Prof.0.80-1.50m	22.0%
Calicata "C-02-E2"/MA/Prof.1.50-2.30m	24.0%
Calicata "C-02-E1"/MA/Prof.2.30-3.60 m	17.3%
Calicata "C-03-E2"/MA/Prof.1.30-2.60 m	23.3%
Calicata "C-03-E1"/MA/Prof.2.60-3.70 m	32.8%
Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m	24.0%
Calicata "C-04-E1"/MA/Prof.2.90-3.90 m	29.1%
Calicata "C-05-E2"/MA/Prof.1.00-2.10 m	25.2%
Calicata "C-05-E1"/MA/Prof.2.10-3.50 m	28.9%
Calicata "C-06-E3"/MA/Prof.0.00-3.70 m	26.2%
Calicata "C-06-E2"/MA/Prof.3.70-4.00 m	29.9%
Calicata "C-06-E1"/MA/Prof.4.00-4.50 m	57.9%
Calicata "C-07-E2"/MA/Prof.0.00-3.00 m	20.2%
Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m	12.3%

La humedad es variable donde el mínimo es de 12.3% y máximo de 57.9%. Materiales granulares que conforman los estratos E1 de las calicatas C-02 y C-07 tienen un contenido de humedad menores al 20% esto es debido a la cantidad de finos que presenta en su composición. En suelos finos como limos y arcillas la humedad es variable, estando relacionado con la plasticidad, aquellos que tiene mayor plasticidad tendrán mayor humedad tal como se muestra en el estrato E1 de la calicata C-06 con un valor de 57.9% siendo esta arcilla de alta plasticidad.

4. Límites De Consistencia: De acuerdo a las muestras obtenidas se optó por realizar el ensayo de límites de consistencia por el método de preparación de especímenes en húmedo.

En suelos finos de arcilla y limos por inspecciones manuales y visuales se determina que el material tenía poco o nada que sea retenido en el tamiz N°40 (menos del 15% del peso total puede ser retenido en el tamiz N°40).

A diferencia de la anterior inspección estos suelos presentan material granular que es retenido en el tamiz N°40 (más del 15% del peso total es retenido en el tamiz N°40) por lo que el procedimiento consistió en el lavado de muestra sobre el tamiz N°40.

Los especímenes obtenidos para ambos suelos (finos y granulares) se llevan a una consistencia de 25 a 35 golpes de la copa para cerrar la ranura, una vez preparado la mezcla se cubre para evitar la pérdida de humedad y se deja reposar por un periodo de 16h para su posterior ensayo. Sin embargo, en los suelos granulares no se llegó a la consistencia indicada por lo que se descarta sus límites de consistencia.

Una vez pasado las 16hr mínimo en los suelos finos se procede a realizar el ensayo de límite líquido con el equipo de copa de Casagrande donde se realiza por el método multipunto (04 puntos).

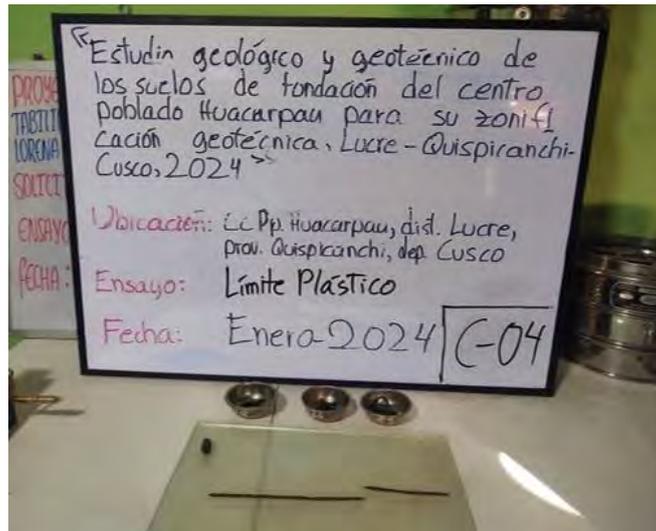
Para procedimiento de límite plástico se extrae mínimo 20gr de la muestra del límite líquido. Donde se procede a secar la muestra con el vidrio esmerilado hasta que el elipsoide no se pegue a la mano, cada peso de este elipsoide se encuentra en un rango de 1.5 y 2g obteniéndose en total una masa mayor a 6g, siendo su procedimiento realizado con la palma de la mano. En suelos limosos-arcillos los hilos enrollados para el límite plástico llegaron a desmoronarse antes de los 3.2mm de diámetro, en cambio en suelos arcillosos no se desmoronaban a este diámetro por lo que se debían amasar de nuevo y volver hacer los hilos hasta que se desmoronaran antes de llegar al diámetro indicado. Una vez obtenido estos hilos con su debido procedimiento se colocan en una capsulas con tapas para luego realizar su pesaje.

El siguiente cuadro muestra todos los datos calculados por el método multipunto para el Límite Líquido (LL) y Limite Plástico (LP) para la obtención de su Índice de Plasticidad (IP).

*Tabla 34. Tabla límites de consistencia*

<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>LL%</b>	<b>LP%</b>	<b>IP%</b>
Calicata "C-01-E2"/MA/Prof.1.40-3.20 m	28%	21%	7%
Calicata "C-01-E1"/MA/Prof.3.30-3.80 m	NP	NP	NP
Calicata "C-02-E3"/MA/Prof.0.80-1.50m	26%	21%	5%
Calicata "C-02-E2"/MA/Prof.1.50-2.30m	22%	20%	2%
Calicata "C-02-E1"/MA/Prof.2.30-3.60 m	No presenta	No presenta	No presenta
Calicata "C-03-E2"/MA/Prof.1.30-2.60 m	26%	23%	3%
Calicata "C-03-E1"/MA/Prof.2.60-3.70 m	38%	22%	16%
Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m	26%	22%	4%
Calicata "C-04-E1"/MA/Prof.2.90-3.90 m	39%	22%	17%
Calicata "C-05-E2"/MA/Prof.1.00-2.10 m	28%	21%	7%
Calicata "C-05-E1"/MA/Prof.2.10-3.50 m	55%	26%	29%
Calicata "C-06-E3"/MA/Prof.0.00-3.70 m	28%	21%	7%
Calicata "C-06-E2"/MA/Prof.3.70-4.00 m	56%	29%	27%
Calicata "C-06-E1"/MA/Prof.4.00-4.50 m	139%	71%	68%
Calicata "C-07-E2"/MA/Prof.0.00-3.00 m	31%	24%	7%
Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m	No presenta	No presenta	No presenta

Fotografía 53. Ensayo de límites de consistencia



5. Análisis Granulométrico Por Tamizado: La ejecución de este ensayo permitió una clasificación precisa de los suelos, siguiendo las directrices de la NTP-339.128. donde se realizaron un total de 07 ensayos granulométricos con el método manual. Los resultados del ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

Finalmente, a partir de los resultados de la granulometría y los límites de consistencia, se pudo clasificar correctamente los suelos utilizando el método SUCS.

6. Clasificación SUCS: De acuerdo a la clasificación SUCS los suelos presentes en la zona de estudio de Huacarpay están clasificados como ML, CL-ML, CL, CH y OH para suelos finos y SP-SM para suelos granulares.

Tabla 35. Cuadro resumen de ensayos de clasificación

## SUCS

IDENTIFICACIÓN	% DE MATERIAL			LIMITES DE CONSISTENCIA (PAS.N°40)			CLASIFICACIÓN	TIPO DE SUELO
	% Gravas	% Arenas	% Finos	LL	LP	IP	SUCS	
Calicata "C-01-E2"/MA/Prof.1.40-3.20 m	0.01%	20.31%	79.68 %	28%	21 %	7%	CL - ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena
Calicata "C-01-E1"/MA/Prof.3.30-3.80 m	0.01%	31.04%	68.95 %	NP	NP	NP	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso
Calicata "C-02-E3"/MA/Prof.0.80-1.50m	0.00%	29.00%	71.00 %	26%	21 %	5%	CL - ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena
Calicata "C-02-E2"/MA/Prof.1.50-2.30m	0.00%	20.73%	79.27 %	22%	20 %	2%	ML (2)	Limo de baja plasticidad con arena
Calicata "C-02-E1"/MA/Prof.2.30-3.60 m	0.28%	92.16%	7.57%	NP	NP	NP	SP - SM (2)	Arena mal graduada con limo
Calicata "C-03-E2"/MA/Prof.1.30-2.60 m	0.00%	15%	85%	26%	23 %	3%	ML (1)	Limo de baja plasticidad
Calicata "C-03-E1"/MA/Prof.2.60-3.70 m	0.00%	3.05%	96.95 %	38%	22 %	16 %	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad
Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m	0.00%	13.15%	86.85 %	26%	22 %	4%	ML (1)	Limo de baja plasticidad
Calicata "C-04-E1"/MA/Prof.2.90-3.90 m	0.00%	5.85%	94.15 %	39%	22 %	17 %	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad
Calicata "C-05-E2"/MA/Prof.1.00-2.10 m	0.0%	14.24%	85.76 %	28%	21 %	7%	CL - ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad
Calicata "C-05-E1"/MA/Prof.2.10-3.50 m	0.00%	2.05%	97.95 %	55%	26 %	29 %	CH	Arcilla densa de alta plasticidad
Calicata "C-06-E3"/MA/Prof.0.00-3.70 m	0.00%	16.98%	83.02 %	28%	21 %	7%	CL - ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad
Calicata "C-06-E2"/MA/Prof.3.70-4.00 m	0.00%	2.03%	97.97 %	56%	29 %	27 %	CH	Arcilla densa de alta plasticidad
Calicata "C-06-E1"/MA/Prof.4.00-4.50 m	0.00%	0.84%	99.16 %	139 %	71 %	68 %	OH	Arcilla organica
Calicata "C-07-E2"/MA/Prof.0.00-3.00 m	0.00%	20.68%	79.32 %	31%	24 %	7%	ML (1)	Limo de baja plasticidad con arena
Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m	16.62%	73.60%	9.78%	NP	NP	NP	SP - SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava

## 7. Ensayo de Densidad

- c) Densidad por el método del Cilindro: Este método consiste en un cilindro metálico de dimensiones conocidas, uno de los extremos tiene los bordes afilados para lograr una mejor penetración y menor perturbación de la muestra. Para la obtención de muestra en el cilindro se realiza los siguientes pasos.

Se obtiene muestra del bloque inalterada del estrato a ensayar del fondo de la calicata de exploración, se coloca cuidadosamente hacia superficie y se inspecciona el bloque buscando la parte menos alterada posible para su posterior extracción.

Se coloca el molde en la muestra inalterada y con ayuda de una tabla se realizan los golpes sobre esta en el borde extremo sin filo.

Una vez ingresado toda la muestra en el cilindro esta se quita con mucho cuidado, se embolsa con cuidado hasta que esté totalmente hermético así evitando la pérdida de humedad y posteriormente llevarlo a laboratorio para realizar los ensayos pertinentes. Para la obtención de la densidad de las muestras que se encuentran en los moldes se realizan los siguientes pasos:

- Para evitar las irregularidades en las bases del cilindro se proceden al enrasarlos.
- Se pesa la muestra con el molde, luego se retira la muestra para volver a pesar el molde y de la muestra retirada se calcula su humedad. Se obtiene el peso de muestra húmeda.
- Se halla el volumen del cilindro

*Fotografía 54. Obtención de la densidad por el método del cilindro de pared delgada*



- d) **Densidad Aparente en Suelos Granulares:** Este método denominado también peso unitario, fue utilizado para el suelo granular C-02 y C-07 para determinar la relación masa /volumen. Se realizan dos procedimientos una con densidad aparente apisonada y la otra suelta.

Para la muestra apisonada se llena el recipiente hasta un tercio del total, se nivela con los dedos y se realiza los 25 golpes con varilla de 5/8" de tal manera que esta forma distribuida; luego se vuelve a rellenar otra tercera parte siguiendo el mismo proceso y finalmente se rellena hasta rebalsar, nuevamente se apisona y se nivela al ras del recipiente. Para su cálculo se realiza la siguiente formula:

$$M = (G - T)/V$$

donde:

M= densidad aparente de los áridos (kg/m<sup>3</sup>)

G = masa de los áridos más el recipiente (kg)

T = masa del recipiente (kg)

V = Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)

Del cálculo de densidad tanto para finos y granulares se obtiene lo siguiente:

Tabla 36. Densidades de suelos

IDENTIFICACIÓN	MOLDE CILINDRICO			Peso de Muestra húmeda (gr)	Densidad Húmeda (%)	Densidad Seca (gr/cm3)	Densidad Saturada (gr/cm3)
	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (cm3)				
Calicata "C-01-E2"/MA/Prof.1.40-3.20 m	4.52	9.99	160.30	340.84	1.99	1.75	1.44
Calicata "C-01-E1"/MA/Prof.3.30-3.80 m	4.43	9.95	153.36	525	2.01	1.98	1.58
Calicata "C-02-E3"/MA/Prof.0.80-1.50m	4.75	10.14	185.11	328.88	1.99	1.83	1.50
Calicata "C-02-E2"/MA/Prof.1.50-2.30m	4.85	10.02	185.11	331.09	1.99	1.79	1.48
Calicata "C-02-E1"/MA/Prof.2.30-3.60 m	-	-	-	-	2.1	1.85	1.60
Calicata "C-03-E2"/MA/Prof.1.30-2.60 m	4.48	9.47	149.28	478.0	2.06	1.75	1.42
Calicata "C-03-E1"/MA/Prof.2.60-3.70 m	4.43	9.93	153.39	509.0	1.94	1.83	1.41
Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m	5.01	10.14	199.9	585.0	2.06	1.80	1.45
Calicata "C-04-E1"/MA/Prof.2.90-3.90 m	4.43	9.94	153.21	380.0	1.93	1.83	1.42
Calicata "C-05-E2"/MA/Prof.1.00-2.10 m	4.85	10.1	184.93	327.0	1.99	1.77	1.41
Calicata "C-05-E1"/MA/Prof.2.10-3.50 m	4.45	9.98	155.61	388.0	1.91	1.85	1.44
Calicata "C-06-E3"/MA/Prof.0.00-3.70 m	4.95	10.12	194.75	334.7	1.95	1.68	1.40
Calicata "C-06-E2"/MA/Prof.3.70-4.00 m	4.65	10.24	174.50	328.0	1.91	1.88	1.45
Calicata "C-06-E1"/MA/Prof.4.00-4.50 m	4.42	10.07	154.5	278.0	1.84	1.80	1.14
Calicata "C-07-E2"/MA/Prof.0.00-3.00 m	4.85	10.25	189.36	341.0	2.13	1.80	1.50
Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m	-	-	-	-	1.96	1.88	1.68

8. Ensayo de Corte Directo: El ensayo de corte directo bajo la norma ASTM D-3080, Determina la resistencia al corte del suelo mediante el equipo de corte directo. Donde los parámetros medidos serán la resistencia al esfuerzo cortante ( $t$ ), Cohesión ( $c$ ) y Ángulo de fricción interna ( $\phi$ ). Para la obtención de estos parámetros se toma en cuenta el siguiente procedimiento.

Para la muestra remoldeada, se tamizo por la malla N° 4 y se compacto mediante pequeños golpes por capas hasta llegar a la densidad de campo tal como se encontró en campo, luego se coloca en el equipo de corte donde se le coloca con cargas de 9, 18 y 26 kg para cada muestra a ensayar, además saturándolo por un intervalo de 15min, Al realizar el corte a este se le aplica una velocidad de 4mm/min a cada muestra.

Para la muestra inalterada, se moldea en el anillo del corte, luego se le coloca en el corte directo se le aplica las cargas de 0.5, 1.0 y 1.5 kg/cm<sup>2</sup> para cada muestra a ensayar se satura un mínimo 24hrs para suelos arcillosos y mayor a 12 horas para suelos limosos, el proceso de ensayo se realiza a una velocidad de 2mm/min para mayor precisión.

Cabe aclarar que todas las muestras de composición fina entre limos y arcillas se mantienen en su estado natural para hacer ensayadas. Al realizar el ensayo de corte directo estas muestras se son evaluadas en condiciones no drenadas tal como se encuentran en campo.

Los valores de cohesión, medidos mediante ensayos de corte directo, fluctúan entre 0,0 y 0,25 Kg/cm<sup>2</sup>. Este rango indica una cohesión baja a moderada del material.

El ángulo de rozamiento interno ( $\phi$ ), también obtenido a partir del ensayo de corte directo, se encuentra en un rango de 21° a 33°. Este ángulo representa la

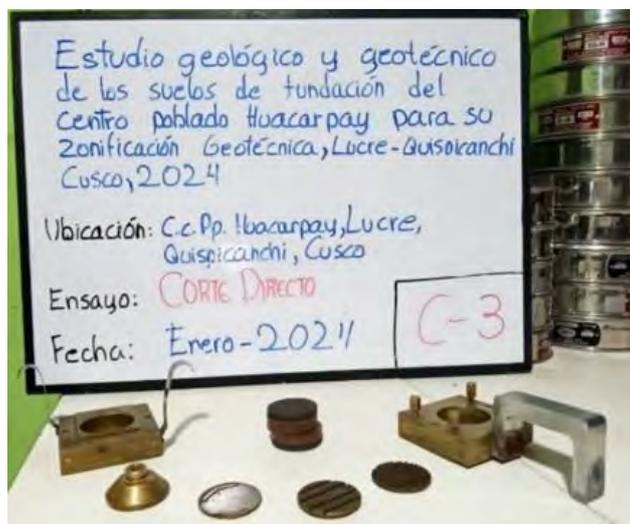
resistencia al deslizamiento del material y está relacionado con la fricción entre las partículas.

Cabe destacar que la cohesión y el ángulo de rozamiento interno son dos propiedades fundamentales que permiten caracterizar el comportamiento mecánico de los suelos. Para un análisis más detallado de los resultados, se recomienda consultar la Tabla 45.

*Tabla 37. Parámetros de resistencia*

IDENTIFICACIÓN	Cohesión (C) Kg/cm <sup>2</sup>	Ang de fricción (Ø) grados (°)
Calicata "C-01-E2"/MA/Prof.1.40-3.20 m	0.23	24.35
Calicata "C-01-E1"/MA/Prof.3.30-3.80 m	0.24	26.07
Calicata "C-02-E3"/MA/Prof.0.80-1.50m	0.23	24.57
Calicata "C-02-E2"/MA/Prof.1.50-2.30m	0.22	25.95
Calicata "C-02-E1"/MA/Prof.2.30-3.60 m	0.02	32.64
Calicata "C-03-E2"/MA/Prof.1.30-2.60 m	0.28	22.78
Calicata "C-03-E1"/MA/Prof.2.60-3.70 m	0.30	25.00
Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m	0.25	23.85
Calicata "C-04-E1"/MA/Prof.2.90-3.90 m	0.31	24.71
Calicata "C-05-E2"/MA/Prof.1.00-2.10 m	0.27	22.63
Calicata "C-05-E1"/MA/Prof.2.10-3.50 m	0.40	21.49
Calicata "C-06-E3"/MA/Prof.0.00-3.70 m	0.23	24.35
Calicata "C-06-E2"/MA/Prof.3.70-4.00 m	0.36	26.21
Calicata "C-06-E1"/MA/Prof.4.00-4.50 m	0.39	22.10
Calicata "C-07-E2"/MA/Prof.0.00-3.00 m	0.22	22.88
Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m	0.00	32.78

*Fotografía 55. Ensayo de corte Directo*



9. Consolidación Unidimensional: El método de ensayo de consolidación unidimensional de suelos bajo la normativa NTP 339.154:2001. Determina la magnitud y la velocidad de la consolidación al aplicarle incrementos de esfuerzos en un espécimen que se encuentra confinado lateralmente.

Este proceso de consolidación consiste en realizar pastillas con muestras inalteradas de formas cilíndricas con dimensiones de 50mm de diámetro con un espesor de 20mm donde se coloca en el equipo de consolidación unidimensional donde la muestra esta confinada lateralmente luego se aplican aumentos de cargas cada 24 horas y cada vez mayores en los suelos hasta que la deformación sea mínima en cada termino de asiento. Una vez terminado este proceso de carga durante 5 días se procede a realizar el proceso de descarga cada 1 o 2 horas; culminado este proceso se realiza su procesamiento obteniéndose parámetros como: densidades secas y húmedas, sobre consolidación, esfuerzo efectivo, relación de sobre consolidación, la relación de vacíos inicial y final, modulo volumétrico, índice de compresión y Re compresión y por último el módulo elástico.

Este ensayo es aplicable a las muestras con alto contenido de finos y presencia de nivel freático siendo estas las calicatas C-01, C-03, C-04, C-05 y C-06. De las muestras se obtienen parámetros que se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 38. Parámetros obtenidos del ensayo de consolidación

Calicata	Módulo elástico E (tn/m <sup>2</sup> )	Módulo de poisson (u)	Sobre consolidación $\sigma_c$ [tn/m <sup>2</sup> ]	Índice de compresión Cc	Índice de recompresion Cr	Relación de Vacíos $e_o$
C-01-E2	1345	0.32	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-01-E1	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-02-E3	730.17	0.32	3.3	0.08501	0.02854	0.76
C-02-E2	1379	0.32	4.1	0.0429	0.00766	0.51
C-02-E1	2500	0.3	-	-	-	-
C-03-E2	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-03-E1	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-04-E2	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-04-E1	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-05-E2	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-05-E1	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E3	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-06-E2	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E1	560	0.35	6.1	0.16664	0.04972	1.21
C-07-E2	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-07-E1	2500	0.3	-	-	-	-

Fotografía 56. Ensayo de consolidación para los especímenes arcillosos



10. Ensayos Químicos del Suelo: La presencia de elementos químicos como los aniones de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) se evidencian en la zona de estudio, esto debido a la presencia de características geológicas, evidencias in situ y ensayos de suelos próximos a la zona de estudio el cual se detallan a continuación:

- e) Si bien es cierto la zona de estudio se ubica cercanamente al depósito de la formación Maras siendo estos yesos de un ambiente sabkha, lutitas de origen lacustre y calizas marinas de poca profundidad (ver ítem 6.1.2.), estos materiales al ser erosionados y a su vez disueltos conforman químicos ricos en aniones que son depositados en los ambientes lacustres.
- f) Los suelos de Huacarpay, al estar en épocas de estiaje, presentan niveles freáticos bajos; por lo que, se evidencian en la superficie, la eflorescencia de manchas blanquecinas, costras salinas, texturas agrietadas y de vegetación escasa.

*Fotografía 57. Presencia de sales en la superficie del terreno*



- g) A solicitud de la municipalidad Distrital de Lucre se hace el estudio de mecánica de suelos con fines de cimentación en el Anexo Huayllarpampa de la C.C. Huambutio del distrito de lucre, siendo a cargo de este estudio la empresa PRO INGEMA SAC. En el informe se tiene el estudio de ensayos químicos donde los suelos de cimentación superan el máximo permisible de sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cuyas tolerancias están definidas bajo el Manual de Ensayo de Materiales R.D. N°18-2016-MTC/14, la RNE Norma Técnica E.050 y la RNE NTE E.060.

Tabla 39. Determinación de Sales, Cloruros y Sulfatos

Determinaciones	Unidad	M1	Tolerancia
Humedad	%	25	-
<b>Muestra seca</b>			
Cloruros	Cl- %	0.018	0.10
Sulfatos	SO4= %	<b>0.063</b>	0.06
pH		7.8	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	2460	-
Sales solubles totales	%	0.164	-

Fuente. Informe de EMS en el Anexo Huayllarpampa-Lucre, 2024

La presencia de estos aniones podría poner en riesgo a las infraestructuras de concreto armado por lo que se deberían de tomar en cuenta para evitar la corrosión del refuerzo de acero y su posterior fisuración debido a la expansión.

### 9.3.5. Descripción geotécnica del perfil estratigráfico

De la descripción detallada de cada estrato de suelos encontrados en campo y además de la evaluación de las propiedades físico-mecánicas en laboratorio, se detalla a continuación las características, su clasificación, los parámetros geotécnicos y los niveles freáticos de los suelos encontrados en la presente investigación.

Es importante mencionar que las calicatas, descritas en las siguientes tablas, son las mismas que las calicatas litoestratigráficas, con la diferencia de poseen ahora un enfoque geotécnico-SUCS.

Tabla 40. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-01.

PERFIL DE SUELOS			
CALICATA	CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS		
	ESTR.	PROF.	COMPOSICIÓN
C-01	E-3	0.0m – 1.4m	DESMONTE: Material de relleno formado por una matriz limosa parduzca rojiza húmeda de baja consistencia con bloques y clastos sub redondeados de distinto diámetro. Todo el conjunto acompañado de algunos restos de basura y desmonte.
	E-2	1.4m – 3.2m	ARCILA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Fluviolacustrino 1 está compuesto de alrededor de 80% de finos y 20% de arenas conformando una arcilla limosa de baja plasticidad con arena según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.
	E-1	3.2m – 3.8m	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario fluvial analizado está compuesto aproximadamente de 70% finos y 30% de arenas finas conformando una arcilla de limos baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración marrón-rojiza y además de un lente de coloración negra conformada de turba de un espesor menor a 10cm. Su estado de humedad varia de húmedo a saturado, mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los primeros 30cm, se registraron valores menores a 6 golpes/10cm, y en los siguientes 60cm, valores que van desde 8 a 14 golpes/10cm de auscultación, lo que indica una posible transición en la estratigrafía de limos de baja plasticidad a arenas limosas. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.80m desde superficie.

Tabla 41. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-02

PERFIL DE SUELOS			
CALICATA	CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS		
	ESTR.	PROF.	COMPOSICIÓN
C-02	E-4	0.0m – 0.8m	DESMONTE: Material de relleno formado por una matriz limosa parduzca rojiza fuertemente húmeda de baja consistencia con una delgada capa de cobertura vegetal en la superficie. Todo el conjunto acompañado de algunos restos de basura y desmonte.
	E-3	0.8m – 1.5m	ARCILA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Fluvioacustrino 1 está compuesto de alrededor de 70% de finos y 30% de arenas conformando una arcilla limosa de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.
	E-2	1.5m – 2.3m	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacustrino 2 analizado está compuesto aproximadamente de 80% finos y 20% de arenas finas conformando limos de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración marrón-rojiza. Su estado húmedo muestra una consistencia blanda.
	E-1	2.3m – 3.6m	ARENA MAL GRADUADA CON LIMO (SP-SM): El material cuaternario fluvial analizado está compuesto aproximadamente de 90% arenas y 10% de finos conformando una arena mal graduada según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza grisácea. Su estado de humedad varia de saturado a húmedo mostrando una compacidad suelta a moderada. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los primeros 40cm, se registraron valores menores a 11 golpes/10cm, y en los siguientes 40cm, valores que van desde 13 a 14 golpes/10cm de auscultación, lo que indica la continuidad de este estrato y el aumento de su rigidez conforme se profundice. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.20m desde superficie.

Tabla 42. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-03 y C-04

PERFIL DE SUELOS			
CALICATA	CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS		
	ESTR.	PROF.	COMPOSICIÓN
C-03	E-3	0.0m – 1.3m	DESMONTE: Conformada de material de desmonte de plásticos, basura, materiales de construcción entre otros, envueltas caóticamente con arcillas limosas y gravas.
	E-2	1.3m – 2.6m	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado está compuesto aproximadamente de 85% finos y 15% de arenas finas conformando limos de baja plasticidad con arenas según SUCS, tiene una coloración marrón-rojiza. Su estado húmedo muestra una consistencia blanda.
	E-1	2.6m – 3.7m	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD (CL): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado está compuesto aproximadamente de 95% de finos y 5% de material granular conformando una arcilla ligera de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado de humedad varía de saturado a húmedo mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los 1.20 m de auscultación, se registraron valores menores a 5 golpes/10cm, lo que indica su baja consistencia. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 2.60m desde superficie.
C-04	E-3	0.0m – 1.4m	DESMONTE: Conformada de material de desmonte de plásticos, basura, materiales de construcción entre otros, envueltas caóticamente con limos arcillosos y gravas.
	E-2	1.4m – 2.9m	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado está compuesto aproximadamente de 85% finos y 15% de material granular conformando limos de baja plasticidad con arenas según SUCS, tiene una coloración marrón-rojiza. Su estado húmedo muestra una consistencia blanda.
	E-1	2.9m – 3.9m	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD (CL): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado está compuesto aproximadamente de 95% de finos y 5% de material granular conformando una arcilla ligera de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado de humedad varía de saturado a húmedo mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en el 1.00 m de auscultación, se registraron valores menores a 6 golpes/10cm, lo que indica su baja consistencia. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.10m desde superficie.

Tabla 43. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-05 y C-06

PERFIL DE SUELOS			
CALICATA	CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS		
	ESTR.	PROF.	COMPOSICIÓN
C-05	E-3	0.0m – 1.0m	DESMONTE: Conformada de material de desmonte de plásticos, basura, materiales de construcción entre otros, envueltas caóticamente con limos arcillosos y gravas.
	E-2	1.0m – 2.1m	ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Lacustrino está compuesto de alrededor de 85% de finos y 15% de material granular conformando una arcilla limosa de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.
	E-1	2.1m – 3.5m	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD CON ARENA (CH): El material cuaternario Lacustrino analizado está compuesto aproximadamente de 98% de finos y 2 % de material granular conformando una arcilla densa de alta plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado de humedad varía de húmedo a saturado mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en el 1.00 m de auscultación, se registraron valores menores a 6 golpes/10cm, lo que indica su baja consistencia. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.50m desde superficie.
C-06	E-3	0.0m – 3.7m	ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Lacustrino está compuesto de alrededor de 85% de finos y 15% de material granular conformando una arcilla limosa de baja plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.
	E-2	3.7m – 4.0m	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD CON ARENA (CH): El material cuaternario Lacustrino analizado está compuesto aproximadamente de 98% de finos y 2 % de material granular conformando una arcilla densa de alta plasticidad según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza. Su estado de humedad varía de húmedo a saturado mostrando una consistencia blanda. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.00m desde superficie.
	E-1	4.0m – 4.5m	ARCILLA ORGANICA DE ALTA PLASTICIDAD (OH): El material cuaternario Lacustrino analizado está compuesto aproximadamente de 99% de finos con presencia de material orgánico en descomposición y 1 % de material granular conformando una arcilla orgánica de muy alta plasticidad según SUCS, tiene una coloración gris-negrusco. Su estado de humedad varía de saturado a húmedo mostrando una consistencia blanda. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.00m desde superficie.

Tabla 44. Descripción estratigráfica-geotécnica de la calicata C-07

PERFIL DE SUELOS			
CALICATA	CARACTERIZACIÓN DE ESTRATOS		
	ESTR.	PROF.	COMPOSICIÓN
C-07	E-2	0.0m – 3.0m	LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado está compuesto aproximadamente de 80% finos y 20% de material granular conformando limos de baja plasticidad con arena según SUCS, tiene una coloración marrón-rojiza. Su estado húmedo muestra una consistencia blanda.
	E-1	3.0m – 3.5m	ARENA LIMOSA (SM): El material cuaternario fluvial analizado está compuesto aproximadamente de 10% de gravas, 70 % arenas y 20% de finos conformando una arena mal graduada con limo y grava según SUCS, tiene una coloración pardo-rojiza grisácea. Su estado de humedad varia de saturado a húmedo mostrando una compacidad suelta a moderada. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los primeros 60cm, se registraron valores desde 12 a 16golpes/10cm de auscultación, lo que indica la continuidad de este estrato y el aumento de su rigidez conforme se profundiza. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.00m desde superficie.

#### 9.4. Parámetros geotécnicos y análisis

##### 9.4.1. Propiedades del suelo

De los datos obtenidos en laboratorio y su respectivo procesamiento se obtienen los siguientes parámetros de cada muestra obtenidos de las calicatas de exploración que se muestran en el cuadro resumen de todas las muestras obtenidas en cada calicata de exploración.

Tabla 45. Parámetros de Resistencia y de Asentamientos

Clasificación	Parámetros de resistencia	Parámetros de Deformación							
		Elásticos				Edométricos			
		SUCS	Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. de fricción Ø (°)	Modulo elástico E (tn/m <sup>2</sup> )	Módulo de poison (u)	Sobre consolidación $\sigma_c$ [tn/m <sup>2</sup> ]	Índice de compresión Cc	Índice de recompresion Cr
Calicata									
C-01-E2	CL-ML (1)	0.23	24.35	1345	0.32	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-01-E1	ML (2)	0.24	26.07	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-02-E3	CL-ML (1)	0.23	24.57	730.17	0.32	3.3	0.08501	0.02854	0.76
C-02-E2	ML (2)	0.22	25.95	1379	0.32	4.1	0.0429	0.00766	0.51
C-02-E1	SP - SM (2)	0.02	32.64	2500	0.3	-	-	-	-
C-03-E2	ML (1)	0.28	22.78	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-03-E1	CL	0.3	25	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-04-E2	ML (1)	0.25	23.85	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-04-E1	CL	0.31	24.71	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-05-E2	CL-ML (2)	0.27	22.63	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-05-E1	CH	0.4	21.49	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E3	CL-ML (2)	0.23	24.35	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-06-E2	CH =	0.36	26.21	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E1	OH	0.39	22.1	560	0.35	6.1	0.16664	0.04972	1.21
C-07-E2	ML (1)	0.22	22.88	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-07-E1	SP - SM (1)	0	32.78	2500	0.3	-	-	-	-

#### 9.4.2. Cálculo de capacidad admisible

En este ítem se da a conocer la capacidad de soporte del suelo de fundación para una cimentación superficial de una zapata cuadrada con un ancho variable de cimentación (B) y a diferentes profundidades de desplante (Df). La relación de (Df) y (B) es menor a cinco siendo estas cimentaciones superficiales.

Los suelos identificados en las calicatas, debido a sus características geotécnicas, se clasifican predominantemente como suelos blandos e intermedios. Además de contar con un nivel freático variable, próximo a superficie, por lo que se sugiere una profundidad de mínima de 1.0 m para su evaluación. Dado que los cálculos posteriores son determinados con un Df entre 1.50 y 3.50m, se asumirá la condición más crítica: suelos en estado saturado, donde se considera un diseño conservador ante los niveles freáticos fluctuantes.

Para el cálculo de capacidad de carga ultima, se considera un mecanismo de falla local, lo que implica que los parámetros de resistencia al corte, como el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y la cohesión (C), deben ser ajustados mediante un factor de corrección de

2/3. Este ajuste es necesario para reflejar adecuadamente las condiciones de deformación y resistencia del suelo bajo cargas aplicadas. Además estos parámetros de  $\phi$  y C fueron obtenidos en condiciones saturadas tal como se encuentra en campo, siendo esta la condición no drenada.

Adicionalmente, se hace referencia a la Norma E-050 Suelos y Cimentaciones, la cual establece que, en suelos granulares, el valor de cohesión (C) debe considerarse igual a cero, mientras que, en suelos cohesivos, el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) se asume cero. Estas consideraciones son fundamentales para garantizar un análisis preciso de la capacidad de carga del suelo.

Para el cálculo de capacidad última de la cimentación, se ha considerado unas zapatas cuadradas con anchos (B) variables de 1.00 a 3.00 m y profundidades de desplante (Df) de 1.50 como mínimo y 3.50m como máximo medidas desde el nivel de terreno actual.

El método empleado para el cálculo de capacidad de carga última se basa en la teoría de Meyerhof, la cual se detalla en el apartado 3.2. referente a marco Teórico – Conceptual. Este método es ampliamente utilizado en la práctica geotécnica debido a la precisión de la estimación de capacidad de carga de suelos bajo diferentes condiciones.

Para la determinación de la capacidad admisible se realiza mediante una división de la capacidad de carga última por un **factor de seguridad (FS) de 3**, tal como se establece en la norma E-050 Suelos y Cimentaciones. Este factor de seguridad garantiza que la cimentación opere dentro de un margen de seguridad adecuado.

El siguiente cuadro se muestra los valores de capacidades admisibles para cada calicata de exploración siendo calculados a partir de los parámetros de resistencia, densidades (Tabla 45) y dimensiones mencionadas anteriormente. Todos los cálculos de

capacidades admisibles como asentamientos posteriores a este ítem son detallados en el anexo “Calculo de capacidades admisibles y asentamientos”.

*Tabla 46. Cálculos de capacidad admisible de cada punto de exploración*

<b>Calicata C-01 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.48	0.46	0.44	0.44	0.43	0.42	0.42	0.42	0.41
2.00	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44
2.50	0.57	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47
3.00	0.62	0.58	0.56	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
3.50	0.69	0.65	0.62	0.59	0.58	0.56	0.55	0.55	0.54
<b>Calicata C-02 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.46	0.44	0.43	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40
2.00	0.51	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43
2.50	1.66	1.61	1.58	1.57	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61
3.00	2.05	1.96	1.91	1.88	1.87	1.86	1.86	1.87	1.88
3.50	2.46	2.33	2.25	2.21	2.18	2.16	2.15	2.15	2.16
<b>Calicata C-03 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.57	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
2.00	0.62	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54
2.50	0.71	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58
3.00	0.78	0.73	0.69	0.67	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61
3.50	0.83	0.78	0.74	0.71	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64
<b>Calicata C-04 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45
2.00	0.57	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2.50	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
3.00	0.80	0.75	0.72	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
3.50	0.86	0.80	0.76	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66
<b>Calicata C-05 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.55	0.55	0.55	0.57	0.57	0.58	0.58	0.59	0.59
2.00	0.80	0.77	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69
2.50	0.92	0.87	0.83	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74
3.00	0.99	0.93	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.77
3.50	1.06	0.99	0.93	0.90	0.87	0.85	0.83	0.82	0.81
<b>Calicata C-06 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.47	0.46	0.44	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.39
2.00	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44
2.50	0.57	0.54	0.52	0.50	0.49	0.48	0.48	0.50	0.51
3.00	0.62	0.58	0.57	0.58	0.59	0.60	0.61	0.62	0.62
3.50	0.85	0.82	0.80	0.79	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74
<b>Calicata C-07 Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2</b>									
<b>Df (m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40
2.00	0.51	0.48	0.47	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43
2.50	0.55	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45
3.00	1.98	1.89	1.84	1.81	1.79	1.79	1.79	1.79	1.80
3.50	2.35	2.23	2.15	2.10	2.07	2.06	2.05	2.04	2.05

Las zonas correspondientes a las calicatas de exploración C-02 y C-07 exhiben, a la profundidad de desplante de 3.00m con anchos de 1.00 a 3.00m propiedades mecánicas favorables con  $Q_{adm}$  mayores a  $1.5\text{kg/cm}^2$ , siendo estos suelos granulares de una adecuada resistencia al esfuerzo cortante. En contraste las otras zonas donde se emplazaron las calicatas de exploración C-01, C-03, C-04, C-05 y C-06 tienen propiedades mecánicas desfavorables por lo que sus suelos finos tienen una resistencia a la corte reducida de  $Q_{adm}$  menor a  $1\text{kg/cm}^2$ .

#### **9.4.3. Cálculo de asentamientos**

Si bien es cierto las estructuras o edificaciones antes que pueden fallar por un esfuerzo de corte se producen los asentamientos estos al ser lo suficientemente elevados pueden ocasionar daños en la infraestructura haciéndolos disfuncionales. Por tanto, al incrementar las cargas se producirán asentamientos del tipo inmediatos y de consolidación.

1. Asentamientos Inmediatos: Los cálculos de asentamientos inmediatos están basados en la teoría de elasticidad estando detallados en el ítem 3.2 (marco teórico – conceptual). Para la realización de la obtención aproximada de las cargas aplicadas hacia el suelo son determinadas de acuerdo a la norma E.020 Cargas donde se indica que la sumatoria de las cargas vivas y cargas muertas pueden llegar a ser de  $1\text{tn/m}^2$  (en losas de cimentación) por un nivel de piso. El cálculo de asentamientos inmediatos en zapatas cuadradas está determinado con una variación de cargas por niveles de pisos, siendo calculados para los niveles de 1, 3 y 5 pisos. Para más detalles ver el anexo 16.4 “Cálculo de capacidades admisibles y asentamientos”

Tabla 47. Asentamientos inmediatos para 1 nivel

Df (m)	Calicata C-01 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.13	0.96	0.83	0.73	0.65	0.59	0.53	0.48	0.44
2.00	1.01	0.87	0.76	0.68	0.61	0.55	0.50	0.46	0.42
2.50	0.91	0.79	0.70	0.63	0.57	0.51	0.47	0.43	0.40
3.00	0.82	0.73	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38
3.50	0.75	0.67	0.60	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36
Df (m)	Calicata C-02 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.56	0.46	0.39	0.34	0.30	0.26	0.24	0.21	0.19
2.00	0.50	0.42	0.36	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18
2.50	0.45	0.38	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18
3.00	0.41	0.35	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17
3.50	0.37	0.32	0.29	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16
Df (m)	Calicata C-03 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.20	1.02	0.89	0.78	0.69	0.62	0.56	0.51	0.47
2.00	1.07	0.92	0.81	0.72	0.64	0.58	0.53	0.48	0.45
2.50	0.96	0.84	0.74	0.67	0.60	0.55	0.50	0.46	0.42
3.00	0.88	0.77	0.69	0.62	0.56	0.51	0.47	0.44	0.40
3.50	0.80	0.71	0.64	0.58	0.53	0.49	0.45	0.41	0.39
Df (m)	Calicata C-04 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.16	0.98	0.85	0.75	0.67	0.60	0.54	0.49	0.45
2.00	1.03	0.89	0.78	0.69	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43
2.50	0.92	0.81	0.72	0.64	0.58	0.52	0.48	0.44	0.41
3.00	0.84	0.74	0.66	0.60	0.54	0.49	0.45	0.42	0.39
3.50	0.77	0.69	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37
Df (m)	Calicata C-05 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.17	0.99	0.86	0.75	0.67	0.60	0.55	0.50	0.46
2.00	1.04	0.89	0.78	0.70	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43
2.50	0.93	0.81	0.72	0.64	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41
3.00	0.85	0.75	0.67	0.60	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39
3.50	0.78	0.69	0.62	0.56	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37
Df (m)	Calicata C-06 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.04	0.88	0.76	0.66	0.58	0.52	0.47	0.43	0.39
2.00	0.93	0.79	0.69	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37
2.50	0.83	0.72	0.63	0.56	0.51	0.46	0.42	0.38	0.35
3.00	0.76	0.66	0.59	0.53	0.47	0.43	0.39	0.36	0.33
3.50	0.69	0.61	0.55	0.49	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32
Df (m)	Calicata C-07 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	0.61	0.52	0.45	0.40	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24
2.00	0.54	0.47	0.41	0.36	0.33	0.29	0.27	0.25	0.23
2.50	0.49	0.43	0.38	0.34	0.30	0.28	0.25	0.23	0.21
3.00	0.44	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
3.50	0.41	0.36	0.33	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20

Tabla 48. Asentamientos inmediatos para 3 niveles

Df (m)	Calicata C-01 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.40	2.89	2.50	2.20	1.96	1.76	1.59	1.45	1.33
2.00	3.02	2.61	2.28	2.03	1.82	1.64	1.49	1.37	1.26
2.50	2.72	2.37	2.10	1.88	1.70	1.54	1.41	1.29	1.20
3.00	2.47	2.18	1.95	1.75	1.59	1.45	1.33	1.23	1.14
3.50	2.26	2.02	1.81	1.64	1.50	1.37	1.26	1.17	1.09
Df (m)	Calicata C-02 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.67	1.39	1.18	1.02	0.90	0.79	0.71	0.64	0.58
2.00	2.63	2.23	1.91	1.66	1.45	1.28	1.14	1.01	0.91
2.50	1.34	1.15	0.99	0.87	0.78	0.70	0.63	0.57	0.53
3.00	1.22	1.05	0.92	0.81	0.73	0.66	0.60	0.55	0.50
3.50	1.12	0.97	0.86	0.76	0.69	0.62	0.57	0.52	0.48
Df (m)	Calicata C-03 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.61	3.07	2.66	2.34	2.08	1.87	1.69	1.54	1.41
2.00	10.79	9.62	8.59	7.65	6.81	6.06	5.35	4.70	4.17
2.50	11.68	10.34	9.16	8.10	7.16	6.34	5.56	4.87	4.30
3.00	11.55	10.19	9.01	7.96	7.03	6.22	5.47	4.80	4.25
3.50	10.72	9.47	8.39	7.42	6.57	5.83	5.15	4.54	4.04
Df (m)	Calicata C-04 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.47	2.95	2.55	2.25	2.00	1.79	1.62	1.48	1.36
2.00	10.04	8.99	8.06	7.22	6.46	5.79	5.14	4.55	4.07
2.50	10.67	9.53	8.52	7.59	6.76	6.03	5.33	4.70	4.19
3.00	11.32	10.00	8.85	7.82	6.92	6.13	5.39	4.74	4.20
3.50	10.60	9.37	8.29	7.34	6.50	5.77	5.09	4.49	4.00
Df (m)	Calicata C-05 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.50	2.97	2.58	2.26	2.01	1.81	1.64	1.49	1.37
2.00	10.82	9.34	8.04	6.88	5.86	4.98	4.18	3.49	2.96
2.50	10.80	9.24	7.89	6.71	5.66	4.76	3.93	3.25	2.69
3.00	10.37	8.93	7.67	6.54	5.55	4.69	3.90	3.22	2.66
3.50	9.88	8.55	7.38	6.35	5.43	4.63	3.89	3.23	2.69
Df (m)	Calicata C-06 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.12	2.64	2.27	1.98	1.75	1.56	1.41	1.28	1.16
2.00	13.51	12.23	11.12	10.12	9.22	8.43	7.68	7.02	6.49
2.50	12.83	11.63	10.57	9.61	8.73	7.97	7.23	6.56	6.00
3.00	12.46	11.27	10.19	9.21	8.33	7.55	6.80	6.12	5.57
3.50	12.36	11.07	9.92	8.87	7.94	7.12	6.36	5.67	5.11
Df (m)	Calicata C-07 Asentamiento en el centro (cm)								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	1.83	1.56	1.35	1.19	1.05	0.95	0.86	0.78	0.72
2.00	5.34	4.70	4.16	3.69	3.29	2.95	2.64	2.37	2.14
2.50	4.41	3.81	3.33	2.92	2.58	2.30	2.06	1.85	1.67
3.00	1.34	1.18	1.05	0.94	0.86	0.78	0.72	0.66	0.61
3.50	1.22	1.09	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68	0.63	0.59

Tabla 49. Asentamientos inmediatos para 5 niveles

<b>Calicata C-01 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	5.66	4.81	4.17	3.67	3.26	2.93	2.65	2.41	2.21
2.00	5.03	4.34	3.81	3.38	3.03	2.73	2.49	2.28	2.10
2.50	4.53	3.96	3.50	3.13	2.83	2.57	2.35	2.16	1.99
3.00	4.12	3.63	3.24	2.92	2.65	2.42	2.22	2.05	1.90
3.50	3.77	3.36	3.02	2.73	2.49	2.29	2.11	1.95	1.81
<b>Calicata C-02 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	2.79	2.32	1.97	1.70	1.49	1.32	1.19	1.07	0.97
2.00	2.48	2.10	1.80	1.57	1.39	1.24	1.11	1.01	0.92
2.50	2.23	1.91	1.66	1.46	1.29	1.16	1.05	0.96	0.88
3.00	2.03	1.75	1.53	1.36	1.21	1.09	0.99	0.91	0.84
3.50	1.86	1.62	1.43	1.27	1.14	1.03	0.94	0.86	0.80
<b>Calicata C-03 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	9.76	9.08	8.42	7.80	7.19	6.61	6.04	5.50	5.00
2.00	5.35	4.62	4.05	3.59	3.22	2.91	2.65	2.42	2.23
2.50	4.81	4.21	3.72	3.33	3.00	2.73	2.50	2.29	2.12
3.00	4.38	3.86	3.45	3.10	2.82	2.57	2.36	2.18	2.02
3.50	4.01	3.57	3.21	2.91	2.65	2.43	2.24	2.07	1.93
<b>Calicata C-04 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	5.78	4.91	4.26	3.74	3.33	2.99	2.71	2.47	2.26
2.00	5.14	4.44	3.89	3.45	3.09	2.79	2.54	2.33	2.14
2.50	4.62	4.04	3.58	3.20	2.88	2.62	2.40	2.20	2.03
3.00	4.20	3.71	3.31	2.98	2.70	2.47	2.27	2.09	1.94
3.50	3.85	3.43	3.08	2.79	2.55	2.33	2.15	1.99	1.85
<b>Calicata C-05 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	11.42	10.37	9.37	8.44	7.55	6.73	5.95	5.23	4.58
2.00	5.18	4.47	3.92	3.48	3.12	2.82	2.56	2.35	2.16
2.50	4.66	4.07	3.61	3.22	2.91	2.64	2.42	2.22	2.05
3.00	4.24	3.74	3.34	3.01	2.73	2.49	2.28	2.11	1.95
3.50	3.88	3.46	3.11	2.81	2.57	2.35	2.17	2.01	1.86
<b>Calicata C-06 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	5.21	4.39	3.78	3.30	2.92	2.60	2.34	2.13	1.94
2.00	4.63	3.96	3.45	3.04	2.71	2.43	2.20	2.01	1.84
2.50	4.16	3.61	3.17	2.82	2.53	2.28	2.08	1.90	1.75
3.00	3.79	3.32	2.94	2.63	2.37	2.15	1.96	1.80	1.66
3.50	3.47	3.07	2.74	2.46	2.23	2.03	1.86	1.72	1.59
<b>Calicata C-07 Asentamiento en el centro (cm)</b>									
<b>Df</b>	<b>B=L=1.00</b>	<b>B=L=1.25</b>	<b>B=L=1.5</b>	<b>B=L=1.75</b>	<b>B=L=2.0</b>	<b>B=L=2.25</b>	<b>B=L=2.5</b>	<b>B=L=2.75</b>	<b>B=L=3.0</b>
1.50	4.89	4.43	4.01	3.64	3.30	3.00	2.72	2.47	2.24
2.00	2.71	2.34	2.05	1.82	1.63	1.47	1.34	1.23	1.13
2.50	2.44	2.13	1.89	1.69	1.52	1.38	1.27	1.16	1.07
3.00	2.22	1.96	1.75	1.57	1.43	1.30	1.20	1.10	1.02
3.50	2.03	1.81	1.63	1.47	1.34	1.23	1.14	1.05	0.98

2. Asentamientos Por Consolidación: Debido a la presencia de suelos finos con niveles freáticos próximos a la superficie, estos materiales finos son propensos a sufrir cambios de volumen en un lapso de tiempo a cambios de cargas constantes, provocando así el proceso de consolidación.

Para la obtención de los parámetros de consolidación en estratos finos de las calicatas de estudio se realizaron usando el equipo de consolidación unidimensional, para ello se tallan muestras que son lo menos inalteradas y de forma cilíndrica. Este proceso de consolidación consiste en aplicar aumentos de cargas cada vez mayores hasta que la deformación sea mínima en cada termino de asiento. Obteniéndose los parámetros se asentamientos.

En laboratorio se realizó este proceso en un tiempo muy corto en comparación con la deformación de la naturaleza.

El siguiente cuadro muestra los asientos por consolidación unidimensional en los suelos finos (limos, arcillas) de los estratos presentes en cada calicata.

El cálculo de asentamientos por consolidación en zapatas cuadradas está determinado con una variación de cargas por niveles de pisos, siendo calculados para los niveles de 1, 3 y 5 pisos, la altura de consolidación estimada es de 6.00m de profundidad ya que a esta profundidad se disipan hasta el 10 % de la carga. Para más detalles ver el anexo 16.4 “Calculo de capacidades admisibles y asentamientos”







3. Para el asentamiento Total se considera una sumatoria de los asentamientos elásticos y edométricos que se presentaron anteriormente. Los siguientes cuadros muestran los asentamientos totales para 1, 3 y 5 niveles, en el anexo 16.4 “Calculo de capacidades admisibles y asentamientos” se muestran todos los cálculos mostrados.

Tabla 53. Cálculos de asentamientos totales para 1 nivel

<b>Df</b>		<b>Calicata C-01 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	6.78	5.89	5.15	4.50	3.96	3.53	3.09	2.70	2.41
2.00	5.96	5.19	4.54	3.97	3.51	3.13	2.76	2.43	2.19
2.50	5.04	4.38	3.83	3.35	2.96	2.64	2.34	2.07	1.87
3.00	3.96	3.43	3.00	2.62	2.32	2.08	1.84	1.63	1.48
3.50	3.33	2.89	2.52	2.20	1.95	1.74	1.55	1.37	1.24
<b>Df</b>		<b>Calicata C-02 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	2.18	1.80	1.47	1.19	0.98	0.80	0.64	0.51	0.40
2.00	1.23	0.98	0.80	0.61	0.62	0.52	0.44	0.33	0.28
2.50	0.45	0.38	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18
3.00	0.41	0.35	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17
3.50	0.37	0.32	0.29	0.25	0.23	0.21	0.19	0.17	0.16
<b>Df</b>		<b>Calicata C-03 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	2.72	2.29	1.93	1.63	1.39	1.20	1.00	0.83	0.70
2.00	3.99	3.32	2.75	2.27	1.91	1.68	1.47	1.29	1.15
2.50	4.53	3.67	2.94	2.30	1.83	1.47	1.31	1.17	1.06
3.00	4.73	3.80	3.03	2.37	1.85	1.46	1.17	1.05	0.96
3.50	4.63	3.78	3.07	2.46	1.97	1.58	1.19	0.94	0.86
<b>Df</b>		<b>Calicata C-04 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	2.74	2.33	1.99	1.68	1.43	1.23	1.02	0.84	0.70
2.00	3.73	3.13	2.66	2.24	1.93	1.70	1.48	1.29	1.14
2.50	4.05	3.35	2.74	2.22	1.81	1.51	1.33	1.18	1.06
3.00	4.64	3.74	2.99	2.34	1.83	1.43	1.14	1.03	0.94
3.50	4.59	3.75	3.05	2.44	1.96	1.56	1.18	0.93	0.84
<b>Df</b>		<b>Calicata C-05 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	3.75	3.08	2.55	2.17	1.88	1.64	1.40	1.20	1.05
2.00	4.06	3.15	2.42	1.89	2.88	1.62	1.35	1.20	1.09
2.50	3.88	2.93	2.18	1.62	2.25	1.34	1.12	1.01	0.93
3.00	3.77	2.82	2.09	1.54	1.86	1.20	1.01	0.91	0.83
3.50	3.62	2.76	2.07	1.48	1.99	1.08	0.91	0.82	0.75
<b>Df</b>		<b>Calicata C-06 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	5.92	5.18	4.54	3.97	3.50	3.12	2.72	2.36	2.11
2.00	6.23	5.42	4.73	4.14	3.66	3.27	2.88	2.53	2.27
2.50	5.74	4.98	4.34	3.77	3.30	2.91	2.52	2.20	1.98
3.00	5.56	4.76	4.07	3.46	3.02	2.65	2.27	1.94	1.69
3.50	5.67	4.78	4.02	3.35	2.80	2.43	2.06	1.73	1.48
<b>Df</b>		<b>Calicata C-07 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	2.89	2.41	2.01	1.67	1.39	1.16	0.95	0.76	0.62
2.00	2.32	1.93	1.61	1.34	1.13	0.95	0.79	0.66	0.55
2.50	1.51	1.25	1.04	0.88	0.75	0.64	0.55	0.47	0.41
3.00	0.45	0.40	0.35	0.31	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20
3.50	0.41	0.36	0.33	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20

Tabla 54. Cálculos de asentamientos totales para 3 niveles

<b>Df</b>		<b>Calicata C-01 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	13.34	12.03	10.88	9.88	8.99	8.23	7.52	6.88	6.35
2.00	11.72	10.54	9.53	8.64	7.87	7.19	6.57	6.01	5.55
2.50	9.97	8.96	8.09	7.33	6.66	6.08	5.55	5.08	4.69
3.00	8.09	7.26	6.55	5.93	5.39	4.92	4.48	4.10	3.78
3.50	6.93	6.22	5.60	5.07	4.59	4.19	3.81	3.48	3.21
<b>Df</b>		<b>Calicata C-02 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	4.41	3.77	3.25	2.83	2.47	2.18	1.92	1.69	1.51
2.00	2.63	2.23	1.91	1.66	1.45	1.28	1.14	1.01	0.91
2.50	1.34	1.15	0.99	0.87	0.78	0.70	0.63	0.57	0.53
3.00	1.22	1.05	0.92	0.81	0.73	0.66	0.60	0.55	0.50
3.50	1.12	0.97	0.86	0.76	0.69	0.62	0.57	0.52	0.48
<b>Df</b>		<b>Calicata C-03 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	10.34	9.18	8.18	7.28	6.48	5.78	5.10	4.49	3.98
2.00	10.79	9.62	8.59	7.65	6.81	6.06	5.35	4.70	4.17
2.50	11.68	10.34	9.16	8.10	7.16	6.34	5.56	4.87	4.30
3.00	11.55	10.19	9.01	7.96	7.03	6.22	5.47	4.80	4.25
3.50	10.72	9.47	8.39	7.42	6.57	5.83	5.15	4.54	4.04
<b>Df</b>		<b>Calicata C-04 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	9.87	8.76	7.82	6.98	6.24	5.59	4.96	4.39	3.92
2.00	10.04	8.99	8.06	7.22	6.46	5.79	5.14	4.55	4.07
2.50	10.67	9.53	8.52	7.59	6.76	6.03	5.33	4.70	4.19
3.00	11.32	10.00	8.85	7.82	6.92	6.13	5.39	4.74	4.20
3.50	10.60	9.37	8.29	7.34	6.50	5.77	5.09	4.49	4.00
<b>Df</b>		<b>Calicata C-05 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	11.63	10.15	8.87	7.74	6.75	5.89	5.13	4.48	4.01
2.00	10.82	9.34	8.04	6.88	5.86	4.98	4.18	3.49	2.96
2.50	10.80	9.24	7.89	6.71	5.66	4.76	3.93	3.25	2.69
3.00	10.37	8.93	7.67	6.54	5.55	4.69	3.90	3.22	2.66
3.50	9.88	8.55	7.38	6.35	5.43	4.63	3.89	3.23	2.69
<b>Df</b>		<b>Calicata C-06 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	14.44	13.04	11.85	10.79	9.86	9.04	8.27	7.57	6.99
2.00	13.51	12.23	11.12	10.12	9.22	8.43	7.68	7.02	6.49
2.50	12.83	11.63	10.57	9.61	8.73	7.97	7.23	6.56	6.00
3.00	12.46	11.27	10.19	9.21	8.33	7.55	6.80	6.12	5.57
3.50	12.36	11.07	9.92	8.87	7.94	7.12	6.36	5.67	5.11
<b>Df</b>		<b>Calicata C-07 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	5.84	5.12	4.52	4.00	3.55	3.17	2.82	2.51	2.26
2.00	5.34	4.70	4.16	3.69	3.29	2.95	2.64	2.37	2.14
2.50	4.41	3.81	3.33	2.92	2.58	2.30	2.06	1.85	1.67
3.00	1.34	1.18	1.05	0.94	0.86	0.78	0.72	0.66	0.61
3.50	1.22	1.09	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68	0.63	0.59

Tabla 55. Cálculos de asentamientos totales para 5 niveles

<b>Df</b>		<b>Calicata C-01 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	18.13	16.39	14.93	13.68	12.57	11.61	10.72	9.93	9.22
2.00	15.86	14.37	13.09	11.99	11.01	10.16	9.38	8.68	8.05
2.50	13.57	12.29	11.18	10.24	9.39	8.65	7.98	7.37	6.84
3.00	11.17	10.11	9.20	8.42	7.71	7.10	6.54	6.04	5.60
3.50	9.64	8.73	7.94	7.25	6.64	6.10	5.61	5.17	4.79
<b>Df</b>		<b>Calicata C-02 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	6.05	5.21	4.54	4.00	3.55	3.17	2.84	2.56	2.31
2.00	3.83	3.27	2.83	2.48	2.19	1.96	1.76	1.58	1.44
2.50	2.23	1.91	1.66	1.46	1.29	1.16	1.05	0.96	0.88
3.00	2.03	1.75	1.53	1.36	1.21	1.09	0.99	0.91	0.84
3.50	1.86	1.62	1.43	1.27	1.14	1.03	0.94	0.86	0.80
<b>Df</b>		<b>Calicata C-03 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	15.77	14.20	12.86	11.70	10.65	9.73	8.86	8.07	7.35
2.00	16.00	14.49	13.15	11.98	10.89	9.93	9.03	8.21	7.47
2.50	16.64	15.09	13.62	12.34	11.17	10.13	9.17	8.30	7.52
3.00	16.24	14.61	13.16	11.90	10.76	9.75	8.81	7.97	7.22
3.50	14.89	13.40	12.08	10.92	9.87	8.95	8.09	7.33	6.65
<b>Df</b>		<b>Calicata C-04 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	15.01	13.52	12.25	11.16	10.18	9.32	8.51	7.77	7.11
2.00	14.97	13.58	12.36	11.30	10.31	9.43	8.61	7.86	7.18
2.50	15.44	14.01	12.72	11.59	10.54	9.60	8.73	7.93	7.22
3.00	15.90	14.31	12.91	11.69	10.57	9.58	8.67	7.84	7.11
3.50	14.70	13.23	11.93	10.79	9.75	8.84	8.00	7.24	6.57
<b>Df</b>		<b>Calicata C-05 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	17.24	15.32	13.66	12.21	10.90	9.74	8.67	7.71	6.86
2.00	16.38	14.51	12.87	11.42	10.10	8.93	7.84	6.86	5.98
2.50	16.22	14.34	12.69	11.24	9.92	8.76	7.67	6.69	5.82
3.00	15.30	13.58	12.06	10.73	9.51	8.43	7.44	6.53	5.73
3.50	14.26	12.69	11.29	10.06	8.94	7.95	7.03	6.21	5.48
<b>Df</b>		<b>Calicata C-06 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	20.13	18.34	16.80	15.49	14.29	13.24	12.26	11.36	10.55
2.00	18.82	17.22	15.81	14.56	13.47	12.47	11.53	10.67	9.90
2.50	17.82	16.34	15.02	13.84	12.76	11.79	10.87	10.03	9.27
3.00	17.17	15.72	14.41	13.23	12.14	11.16	10.24	9.40	8.64
3.50	16.80	15.28	13.89	12.66	11.52	10.51	9.57	8.72	7.96
<b>Df</b>		<b>Calicata C-07 Asentamiento Total (cm)</b>							
<b>(m)</b>	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.5	B=L=1.75	B=L=2.0	B=L=2.25	B=L=2.5	B=L=2.75	B=L=3.0
1.50	7.94	7.02	6.26	5.62	5.06	4.58	4.15	3.77	3.43
2.00	7.52	5.92	5.97	5.37	4.84	4.38	3.98	3.62	3.30
2.50	6.56	4.66	5.01	4.44	3.95	3.55	3.20	2.90	2.64
3.00	2.22	1.96	1.75	1.57	1.43	1.30	1.20	1.10	1.02
3.50	2.03	1.81	1.63	1.47	1.34	1.23	1.14	1.05	0.98

Es importante mencionar que la norma E050 de suelos y cimentaciones indica que las distorsiones angulares deben de ser menores a  $1/500$ . Porque a mayor carga, las distorsiones serán mucho mayores, lo cual ocasionaría grietas en las edificaciones.

## X. ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

### 10.1. Fundamentos

Los suelos superficiales de fundación del centro poblado Huacarpay se encuentran en un ambiente “Lacustre – Fluvial”, que compone de suelos arcillosos y/o limosos con un medio a alto contenido de material orgánico dentro de su composición en general, húmeda a saturada y con niveles freáticos variables. Dichas características son fuertemente influenciadas por la laguna Huacarpay; haciendo a la vez, que estos adquieran parámetros de suelos finos deformables de variables plasticidades y con varios lentes de turbas por estancamientos de agua y algunos cuerpos enteros de este material; toda esta definición corresponde a los suelos lacustrinos originales de la zona.

Por otro lado, la composición fluvial hace referencia a los depósitos originados del río Huatanay y sus llanuras de inundación por los desbordes que tuvo en su historia. Esta corriente recorre la llanura lacustrina, Dejando depósitos de grava y arena a su paso, pero también una sedimentación entre limosa y arenosa producto de los desbordes que tuvo en su llanura de inundación.

En base a todo este sustento, se pueden diferenciar 2 patrones o grupos litológicos en el Área Huacarpay; la primera hace referencia a depósitos finos lacustrinos solamente; la segunda, al subgrupo de gravas con arenas fluviales del cauce del río Huatanay y su llanura de inundación combinadas con litología lacustrina. En base a esta clasificación y con la ayuda de calicatas de exploración se construyó un modelo litoestratigráfico 3D que fue retrabajado para mejorar su interpretación, en base a la integración con sus características geoestructurales, niveles freáticos, clasificación de suelos SUCS y determinación de sus parámetros geotécnicos; los cuales logran definir un segundo modelo tridimensional geotécnico de mayor detalle, en donde se agregan dos superficies

de zonificación (1.50m y 3.50m de profundidad) para definir sus zonas geotécnicas y concretar el objetivo principal del presente proyecto de investigación.

## **10.2. Integración de resultados**

Para este punto se procede a usar el modelo litoestratigráfico del Área Huacarpay como base de información geomorfológica y litoestratigráfica; al cual, para un mayor detalle y definición de unidades de zonificación, se integra la siguiente información.

1. Características geológicas estructurales y análisis de niveles freáticos: Luego de los ensayos de clasificación unificada de suelos SUCS, se determinó que los depósitos lacustrinos (Q-La), efectivamente presentan dos tipos de arcilla según a su plasticidad, como se había planteado dentro del ítem 6.2.6. referente a perfiles litoestratigráficos, donde esta división aún estaba sujeta a comprobarse.

Por otro lado, la proyección de la falla inversa Cusco de dirección NO-SE, con plano de falla aproximado  $80^{\circ}$  NE a  $85^{\circ}$  NE, que figura en el mapa geológico local (G1-7) y que presentaba una posible reactivación normal; pasa a confirmarse, repercutiendo en la subsidencia de los suelos superficiales de fundación de la zona de estudio, incrementando su hundimiento hacia el margen SE con respecto al rumbo del corte litoestratigráfico 5-6.

Por otro lado, los niveles freáticos del centro poblado Huacarpay son variables y heterogéneos, formando cuerpos erráticos y sueltos de agua subsuperficial y napas freáticas irregulares y variables, pero que siempre se mantienen presentes, pudiendo subir y bajar su nivel considerablemente en épocas de lluvia y estiaje. Esta presencia constante se da debido a la predominante composición fina de estos suelos que adquieren altas porosidades, pero bajas permeabilidades; haciendo de que exista cuerpos de agua almacenados dentro de sus poros, cuerpos de agua atrapados y

también recorriendo contactos litoestratigráficos debido a diferenciadas permeabilidades.

2. Clasificación de suelos SUCS: Con los ensayos de clasificación de suelos abarcado en el ítem 9.3.4., se pudo definir las unidades litológicas a mayor detalle y desde una perspectiva geotécnica. Estas clasificaciones se basan en los criterios del sistema unificado de suelos (SUCS), las cuales se basan según a su contenido de gravas, arenas y finos junto a su índice de plasticidad. Dichos valores se muestran en las tablas a continuación.

*Tabla 56. Clasificación de suelos SUCS, vista 1*

CUATERNARIO	UNIDADES LITÓGICAS		UNIDADES SUCS	
	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)	Li-FILa1	Limo Fluviolacustrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena
	Li-FILa2	Limo Fluviolacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad
	Ar-FILa	Arcilla Fluviolacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad
	Are-Fl	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso
			SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo
Gr-Fl	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	
Cuaternario Lacustrino (Q- La)	Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad
			CH	Arcilla densa de alta plasticidad
	Tb-La	Turba Lacustrina	OH	Arcilla organica
-	Tb-Le	Lentes de Turba	Tb	Lente de turba limosa
	An	Material Antrópico	An	Material antrópico o de relleno

*Tabla 57. Clasificación de suelos SUCS, vista 2*

UNIDADES SUCS		% DE MATERIAL			LÍMITES DE CONSISTENCIA		
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	%	%	% FINOS	LL	LP	IP
CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.01%	20.31%	79.68%	28%	21%	7%
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.00%	20.73%	79.27%	22%	20%	2%
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.00%	3.05%	96.95%	38%	22%	16%
ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	0.01%	31.04%	68.95%	NP	NP	NP
SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	0.28%	92.16%	7.57%	NP	NP	NP
SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	16.62%	73.60%	9.78%	NP	NP	NP
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.0%	14.24%	85.76%	28%	21%	7%
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.00%	2.05%	97.95%	55%	26%	29%
OH	Arcilla organica	0.00%	0.84%	99.16%	139%	71%	68%
Tb	Lente de turba limosa	-	-	-	-	-	-
An	Material antrópico o de relleno	-	-	-	-	-	-

Es importante mencionar que esta nueva clasificación SUCS toma una gran influencia en los demás parámetros geotécnicos determinados; en consecuencia, se

tomó dicha clasificación como base para definir el modelo geotécnico 3D y sus respectivos perfiles base.

3. Parámetros geotécnicos: En el capítulo 10 de geotecnia, se determinan los parámetros de resistencia y deformación basados en ensayos de laboratorio y campo. Estos parámetros son fundamentales para su análisis y establecimiento de parámetros que define la jerarquización de las zonas geotécnicas finales, siendo estas: capacidad admisible de cimentación bajo un factor de seguridad de 3 y sus asentamientos totales. Los respectivos cálculos de los parámetros analizados (resistencia al corte y deformación) se desarrollan bajo un suelo saturado superficialmente con profundidad de nivel freático mínima de 1.0m.

*Tabla 58. Parámetros geotécnicos determinados para la zona de estudio*

Calicata	Clasificación SUCS	Parámetros de resistencia		Parámetros de Deformación					
		Cohesión C (kg/cm <sup>2</sup> )	Ang. de fricción $\phi$ (°)	Elásticos		Edométricos			
				Módulo elástico E (tn/m <sup>2</sup> )	Módulo de poisson (u)	Sobre consolidación $\sigma_c$ [tn/m <sup>2</sup> ]	Índice de compresión Cc	Índice de recompresión Cr	Relación de Vacíos $e_o$
C-01-E2	CL - ML (1)	0.23	24.35	1345	0.32	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-01-E1	ML (2)	0.24	26.07	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-02-E3	CL - ML (1)	0.23	24.57	730.17	0.32	3.3	0.08501	0.02854	0.76
C-02-E2	ML (2)	0.22	25.95	1379	0.32	4.1	0.0429	0.00766	0.51
C-02-E1	SP - SM (2)	0.02	32.64	2500	0.3	-	-	-	-
C-03-E2	ML (1)	0.28	22.78	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-03-E1	CL	0.3	25	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-04-E2	ML (1)	0.25	23.85	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-04-E1	CL	0.31	24.71	660	0.33	7.1	0.1048	0.0256	0.75
C-05-E2	CL - ML (2)	0.27	22.63	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-05-E1	CH	0.4	21.49	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E3	CL - ML (2)	0.23	24.35	730.17	0.33	3.3	0.08501	0.02954	0.76
C-06-E2	CH =	0.36	26.21	796	0.33	8.9	0.1215	0.0209	0.84
C-06-E1	OH	0.39	22.1	560	0.35	6.1	0.16664	0.04972	1.21
C-07-E2	ML (1)	0.22	22.88	1379	0.32	4.1	0.04219	0.00766	0.51
C-07-E1	SP - SM (1)	0	32.78	2500	0.3	-	-	-	-

Con toda la información integrada hasta este punto se pudo concretar los objetivos específicos de caracterización geológica del lugar a través de la interpretación y correlación de características geomorfológicas, litoestratigráficas, geoestructurales, así como el análisis de niveles freáticos del centro poblado Huacarpay. Pasando también a concretar, la determinación y análisis de los parámetros geotécnicos en los suelos

superficiales de fundación de la zona de estudio, quedando pendiente solo la zonificación geotécnica en este punto.

A la vez, todo el proceso comprueba la hipótesis general plasmada. Ya que efectivamente, la caracterización geológica del lugar condiciona la determinación y análisis de sus parámetros geotécnicos por pertenecer a un ambiente Lacustre-Fluvial.

### **10.3. Perfiles geotécnicos**

Estos perfiles toman como base a los cortes litoestratigráficos descritos en el ítem 6.2.6; es por ello que abarcan las mismas extensiones, direcciones y ubicaciones dentro del Área Huacarpay, en donde ahora se integra información geológica estructural, análisis de niveles freáticos y parámetros geotécnicos. Es así como las secciones descritas a continuación son prácticamente, los cortes litoestratigráficos, pero actualizados con toda la integración de información mencionada donde la clasificación SUCS, es ahora la que define los límites “litológicos” en estos perfiles.

En base a este nuevo criterio es importante recalcar que la clasificación de facies sedimentarias; cuaternario fluviolacustrino (Q-La) y Lacustrino (Q-La) con sus respectivas subdivisiones litológicas, mantienen su caracterización en los perfiles geotécnicos; con la diferencia de ahora adquirir una nueva terminología de acuerdo a la clasificación SUCS, así como nuevas subclasificaciones según a toda información añadida y como se hizo en los cortes litoestratigráficos, aquí también se omitirá especificar detalles del Material Antrópico (An) por su nulo aporte.

Por otro lado, es importante mencionar que los parámetros geotécnicos que figuran en los perfiles del siguiente apartado, son capacidades admisibles y asentamientos elásticos. Es importante mencionar que, a todo este conjunto lo denominaremos como parámetros geotécnicos de “2do orden”, ya que dicha información son el resultado de

procesar y analizar los otros parámetros geotécnicos “de 1er orden” que figuran en la Tabla 45.

Donde, para adjuntar capacidades admisibles, dentro de los perfiles geotécnicos y el modelo 3D posterior, se está considerando un factor seguridad FS de 3, profundidades constantes de Df(m) de 1.50m y 3.50m, que muestran rangos de capacidades admisibles en base a dimensiones variables (1-3m) de zapatas cuadradas y aisladas.

Por otro lado, para asentamientos totales se toman las mismas variables de profundidades y dimensiones variables de zapatas; agregando ahora, una carga equivalente a 3 niveles.

Es así que, si comparamos la nueva distribución de unidades de perfiles geotécnicos con las secciones litoestratigráficas; en los cortes geotécnicos se identificaron dos tipos de arcilla referente a las arcillas lacustrinas (Ar-La), subdividiéndose en arcillas limosas de baja plasticidad (CL-ML 2) y arcilla densa de alta plasticidad (CH). Bajo el mismo criterio, las arenas fluviales (Are-Fl) que representan barras fluviales, pasan a clasificarse en 2 subunidades, formando limos de baja plasticidad arenosos (ML 2), en los extremos de las barras fluviales ubicadas en los márgenes del cauce; y arenas mal graduadas con limo (SP-SM 2) en las zonas complementarias a estas barras.

Cabe mencionar que los lentes de turba de bajos espesores se mantienen en los perfiles geotécnicos de una manera dispersa e irregular, donde tienen mayor presencia en el margen derecho del Área Huacarpay (depósitos lacustrinos Q-La).

*Tabla 59. Rangos de parámetros determinantes para perfiles geotécnicos y zonificación*

DEPÓSITO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
					Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Cuaternario Fluviolacustrino (Q-FILa)	Li-FILa1	Limo Fluviolacustrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
	Li-FILa2	Limo Fluviolacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
	Ar-FILa	Arcilla Fluviolacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
	Are-Fl	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
	Gr-Fl	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22
Cuaternario Lacustrino (Q-La)	Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
			CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88
	Tb-La	Turba Lacustrina	OH	Arcilla organica	-	0.46 - 0.756	-	7.34 - 15.47
-	Tb-Le	Lentes de Turba	Tb	Lente de turba limosa	-	-	-	-
	An	Material Antrópico	An	Material antrópico o de relleno	-	-	-	-

- Corte geotécnico 3-4: Formado por las unidades y parámetros que figuran en la tabla siguiente.

Tabla 60. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 3-4

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa2	Limo Fluviolacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluviolacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88

Figura 45. Perfil geotécnico 3-4 (margen izquierdo)

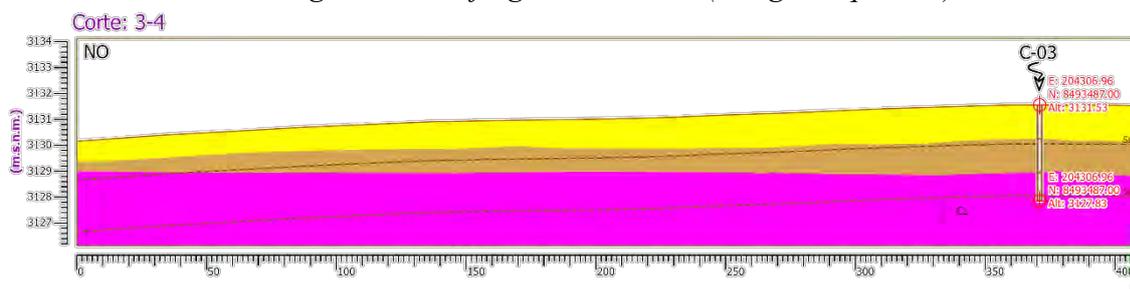
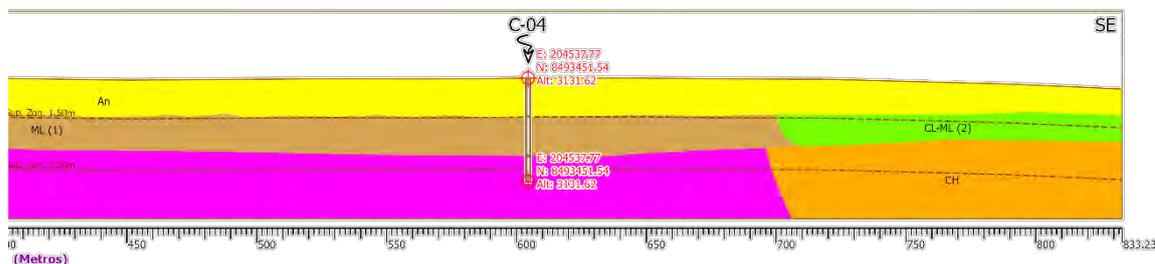


Figura 46. Perfil geotécnico 3-4 (margen derecho)

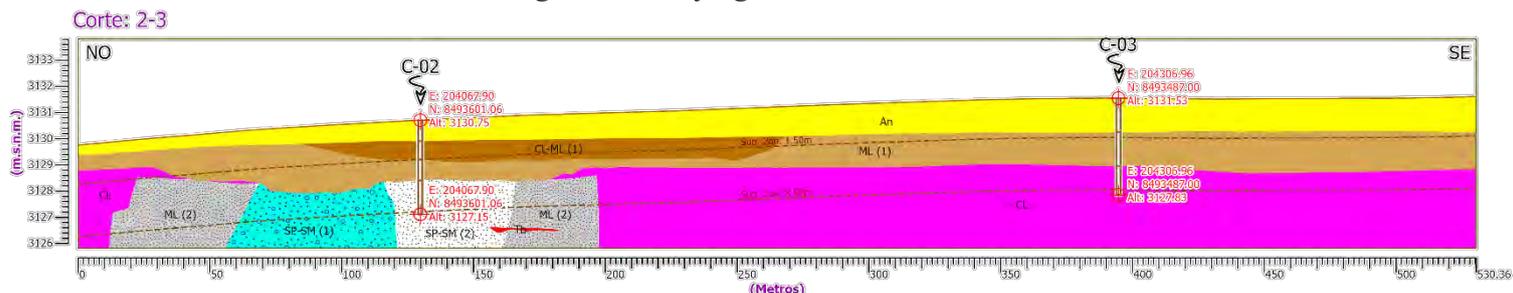


- Corte geotécnico 2-3: Constituido por las unidades y parámetros presentados en el cuadro siguiente

Tabla 61. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 2-3

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluviolacustrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluviolacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluviolacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-FI	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-FI	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22

Figura 47. Perfil geotécnico 2-3

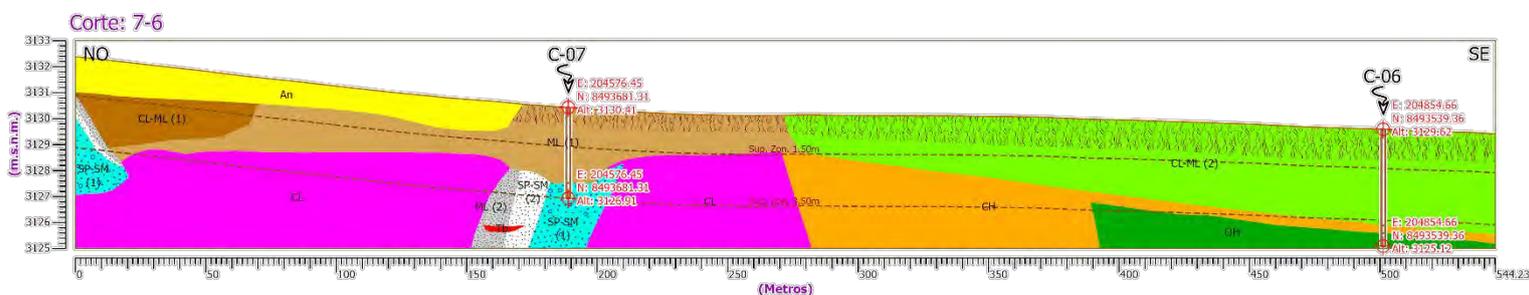


- Corte geotécnico 7-6: Integrado por las unidades y parámetros que se detallan en la tabla que sigue.

Tabla 62. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-6

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacuadrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacuadrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuadrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-Fl	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-Fl	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88
Tb-La	Turba Lacustrina	OH	Arcilla organica	-	0.46 - 0.756	-	7.34 - 15.47

Figura 48. Perfil geotécnico 7-6

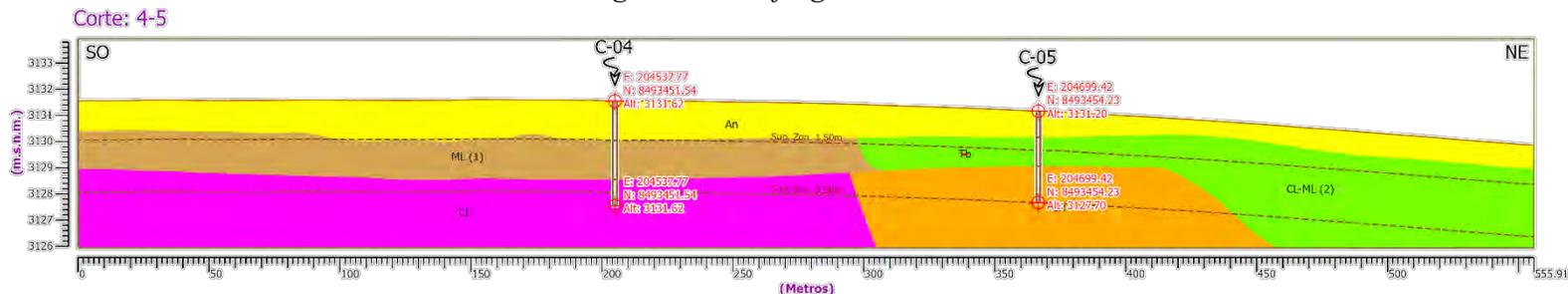


- Corte geotécnico 4-5: Compuesto por las unidades y parámetros enlistados en el registro inferior.

Tabla 63. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 4-5

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa2	Limo Fluvioacuadrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuadrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88

Figura 49. Perfil geotécnico 4-5

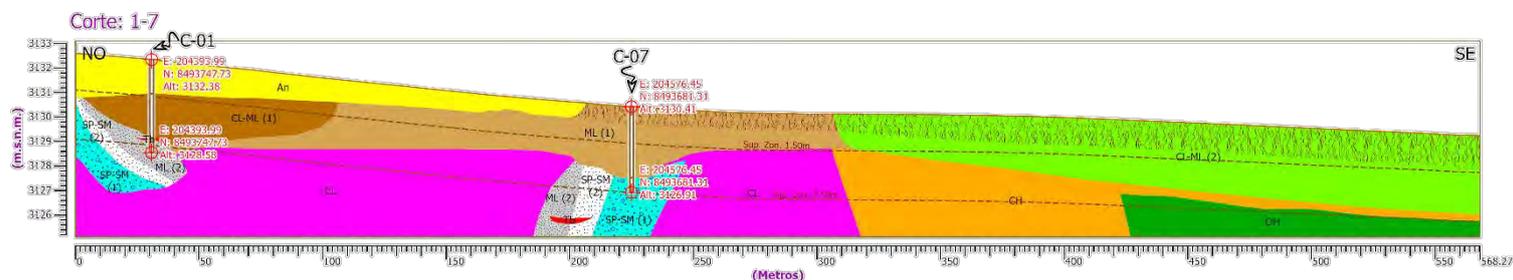


- Corte geotécnico 1-7: Formado por las unidades y parámetros que figuran en la tabla siguiente.

Tabla 64. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 1-7

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacuático 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacuático 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuática	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-Fl	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-Fl	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88
Tb-La	Turba Lacustrina	OH	Arcilla orgánica	-	0.46 - 0.756	-	7.34 - 15.47

Figura 50. Perfil geotécnico 1-7



- Corte geotécnico 2-1: Compone de los parámetros y unidades incluidos en la presentación tabulada siguiente.

Tabla 65. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 2-1

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacuático 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacuático 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuática	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-Fl	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-Fl	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22

Figura 51. Perfil geotécnico 2-1 (margen izquierdo)

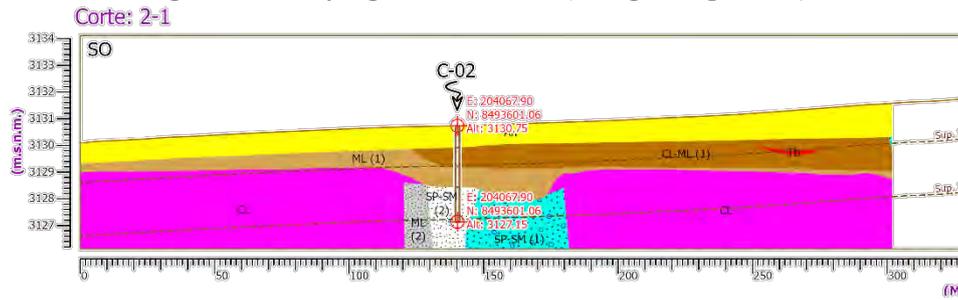
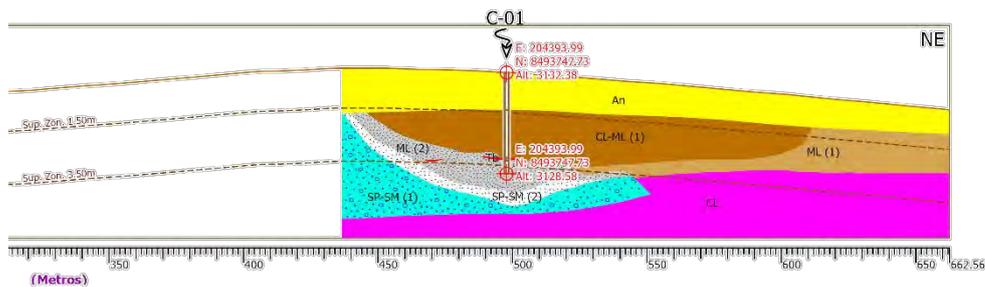


Figura 52. Perfil geotécnico 2-1 (margen derecho)

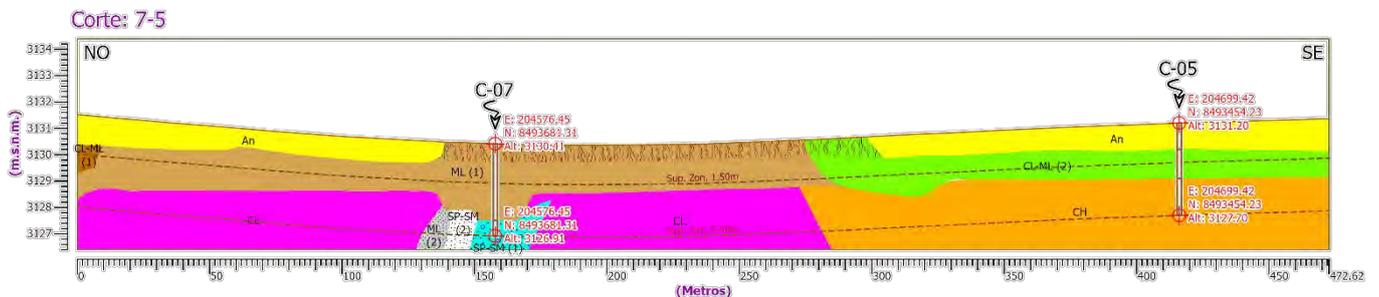


- Corte geotécnico 7-5: Conformado por los parámetros y unidades indicados en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 66. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-5

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacuadrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacuadrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuadrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
		ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
Are-FI	Arena Fluvial	SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-FI	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88

Figura 53. Perfil e geotécnico 7-5

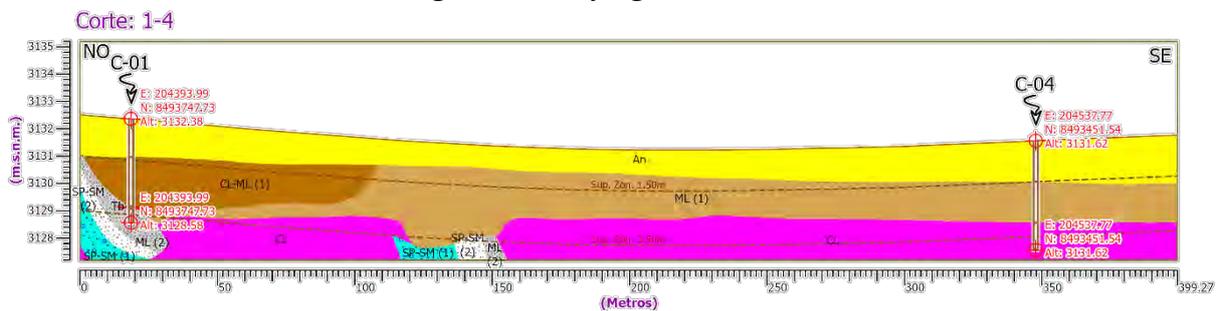


- Corte geotécnico 1-4: Derivado de los elementos y valores presentados en la tabla inferior.

Tabla 67. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 1-4

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacustrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-FI	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-FI	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22

Figura 54. Perfil geotécnico 1-4

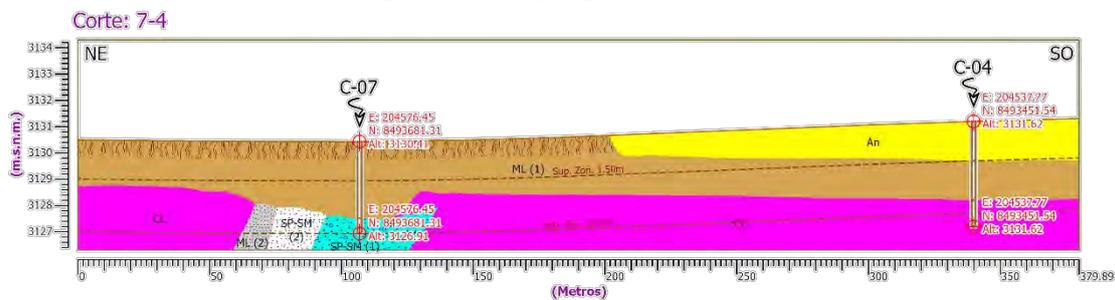


- Corte geotécnico 7-4: Especificado mediante los componentes detallados en el conjunto tabulado que sigue.

Tabla 68. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 7-4

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa2	Limo Fluvioacustrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacustrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Are-FI	Arena Fluvial	ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
		SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-FI	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22

Figura 55. Perfil geotécnico 7-4

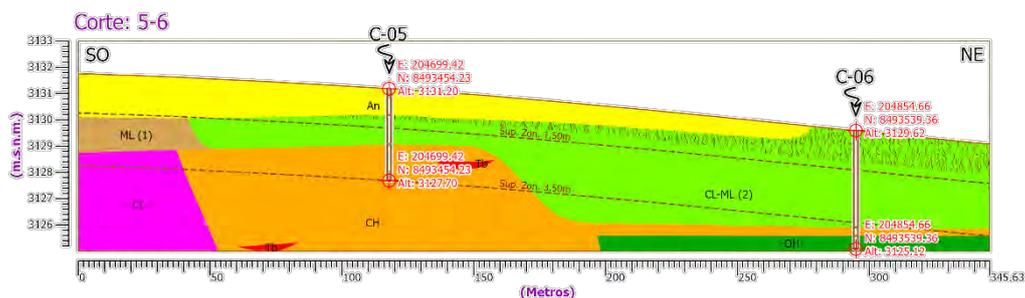


- Corte geotécnico 5-6: Definido con base en los valores y unidades expuestos en la tabla adjunta.

Tabla 69. Rangos de parámetros determinantes para el perfil geotécnico 5-6

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa2	Limo Fluvioacuadrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuadrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88
Tb-La	Turba Lacustrina	OH	Arcilla organica	-	0.46 - 0.756	-	7.34 - 15.47

Figura 56. Perfil geotécnico 5-6

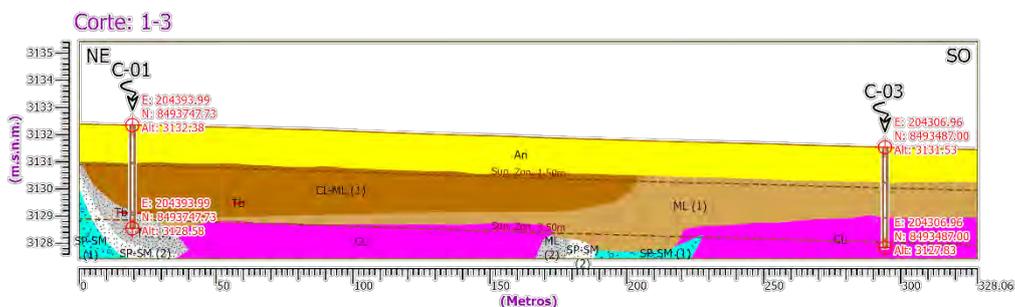


- Corte geotécnico 1-3: Sustentado en las unidades y criterios que figuran en la tabla de datos siguiente.

Tabla 70. Rangos de parámetros determinantes para perfil geotécnico 1-3

UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS			
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )		Asent. (cm) / 3 niveles	
				Df(m):1.50m	Df(m):3.50m	Df(m):1.50m	Df(m):3.50m
Li-FILa1	Limo Fluvioacuadrino 1	CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	-	6.35 - 13.34	-
Li-FILa2	Limo Fluvioacuadrino 2	ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
Ar-FILa	Arcilla Fluvioacuadrina	CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
		ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	-	0.54 - 0.69	-	3.21 - 6.93
Are-FI	Arena Fluvial	SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	-	2.15 - 2.46	-	0.48 - 1.12
Gr-FI	Grava Fluvial	SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	-	2.04 - 2.35	-	0.59 - 1.22
Ar-La	Arcilla Lacustrina	CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39 - 0.47	0.53 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.36
		CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.88

Figura 57. Perfil geotécnico 1-3

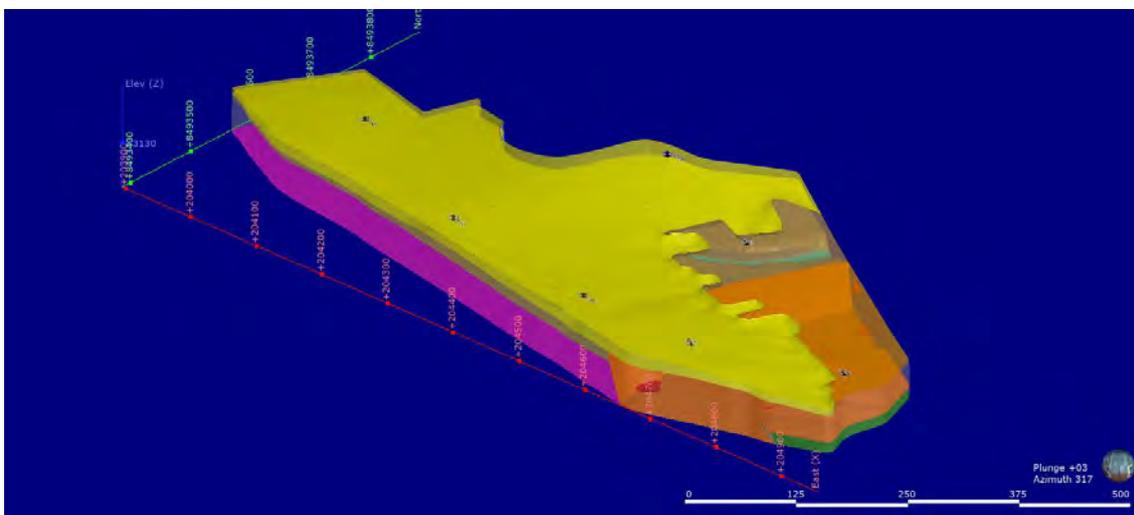


#### 10.4. Modelamiento tridimensional explícito geotécnico

Para este punto se tomó el modelo tridimensional litoestratigráfico como base, el cual se actualizó, agregando las nuevas divisiones de unidades SUCS, detallado en el ítem anterior. Por lo que la secuencia de dibujo del modelo geotécnico 3D es similar al de su antecesor, siguiendo la secuencia siguiente:

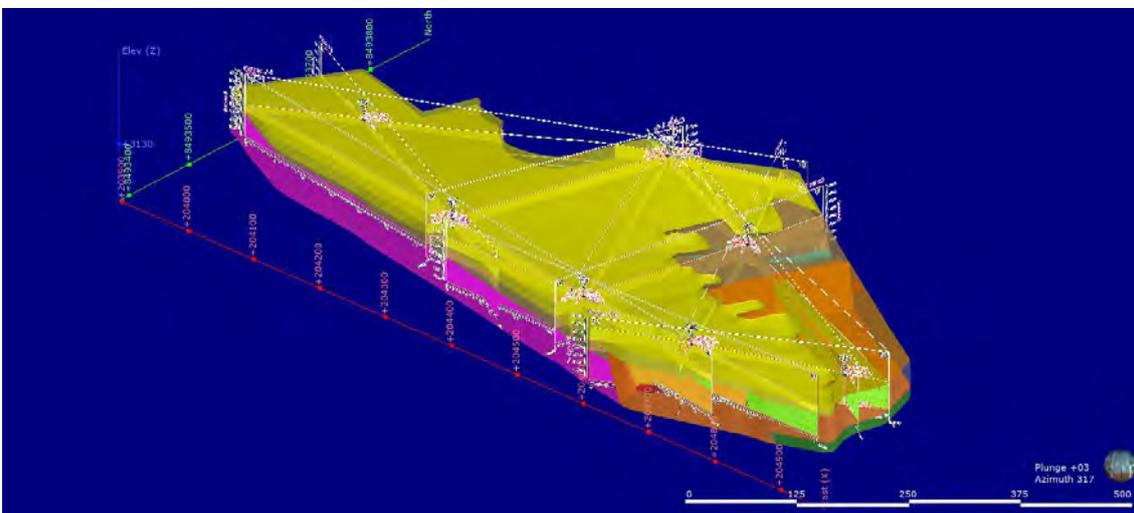
1. Apertura de modelo litoestratigráfico tridimensional como base para dibujo de nuevas unidades.

*Figura 58. Apertura de modelo litoestratigráfico*



2. Importación de perfiles geotécnicos: Con el modelo litoestratigráfico abierto, procedemos a importar los cortes geotécnicos para actualizar los cambios.

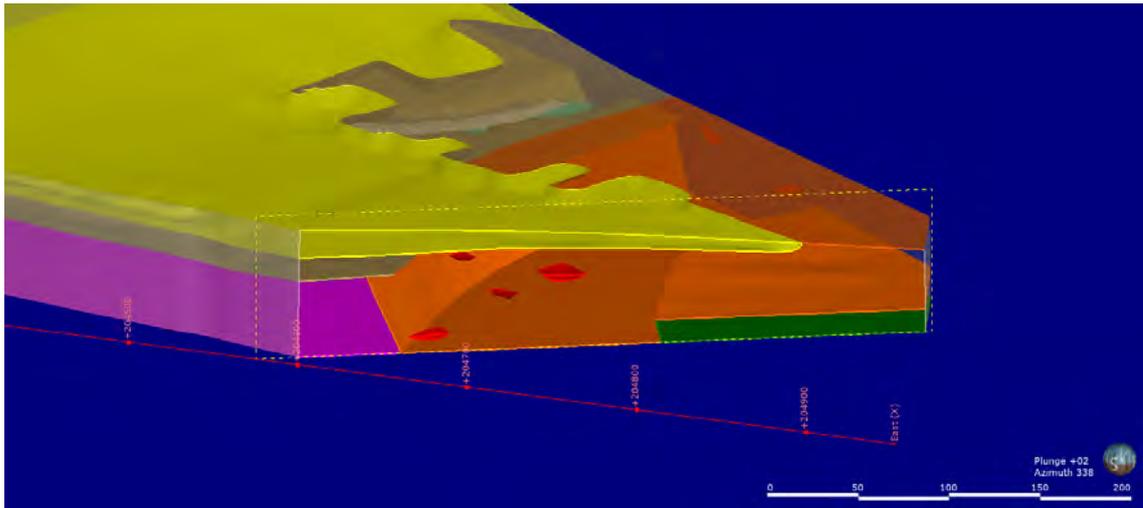
*Figura 59. Superposición de perfiles geotécnicos*



3. Dibujo 3D: A partir de las secciones importadas como base, es posible comenzar el trazado de las nuevas divisiones, estableciendo ahora la correlación tridimensional entre los perfiles geotécnicos.

Como ejemplo de dibujado, se mostrará la adición del salto de falla visto en el perfil geotécnico 5-6.

*Figura 60. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 1*



*Figura 61, Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 2*

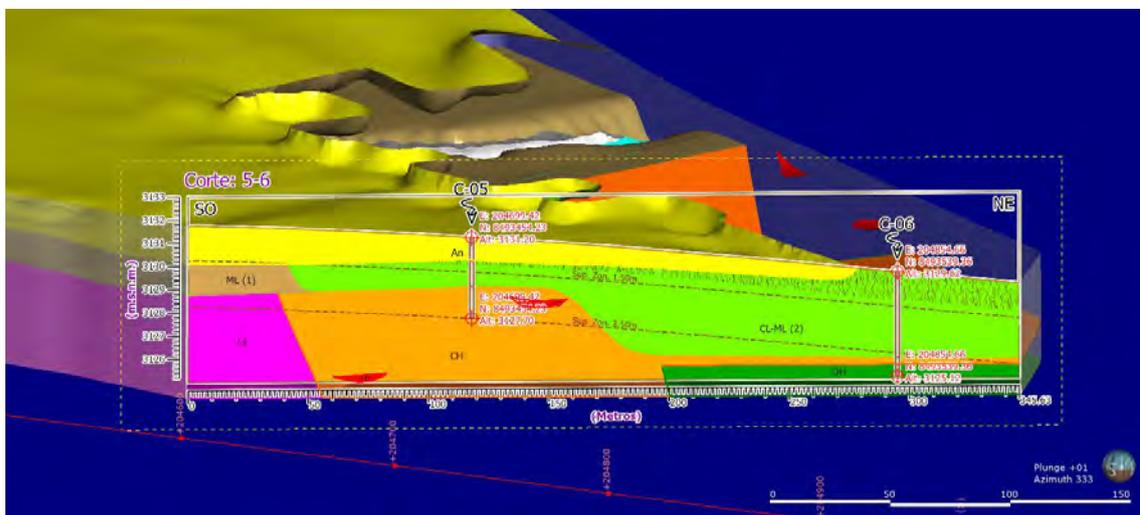


Figura 62. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 3

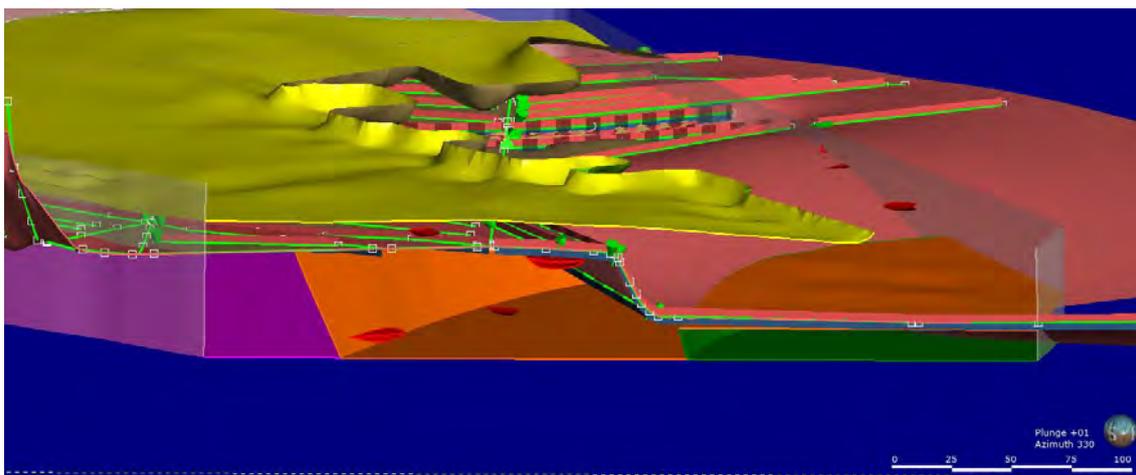
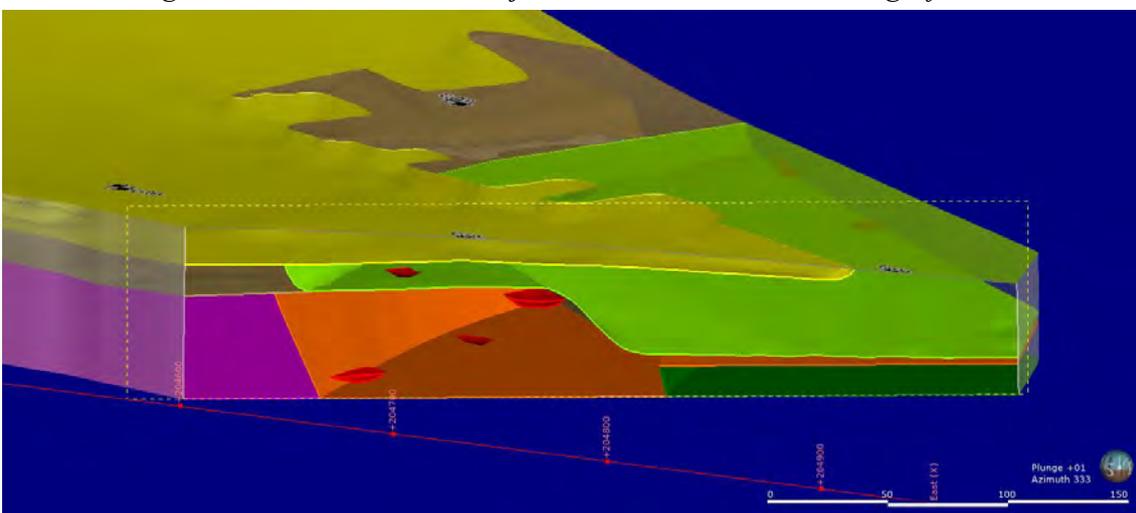


Figura 63. Secuencia de dibujado sobre modelo litoestratigráfico, 4



4. Modelo geotécnico final: Dibujo de las demás unidades siguiendo la última secuencia mostrada.

Figura 64. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 1

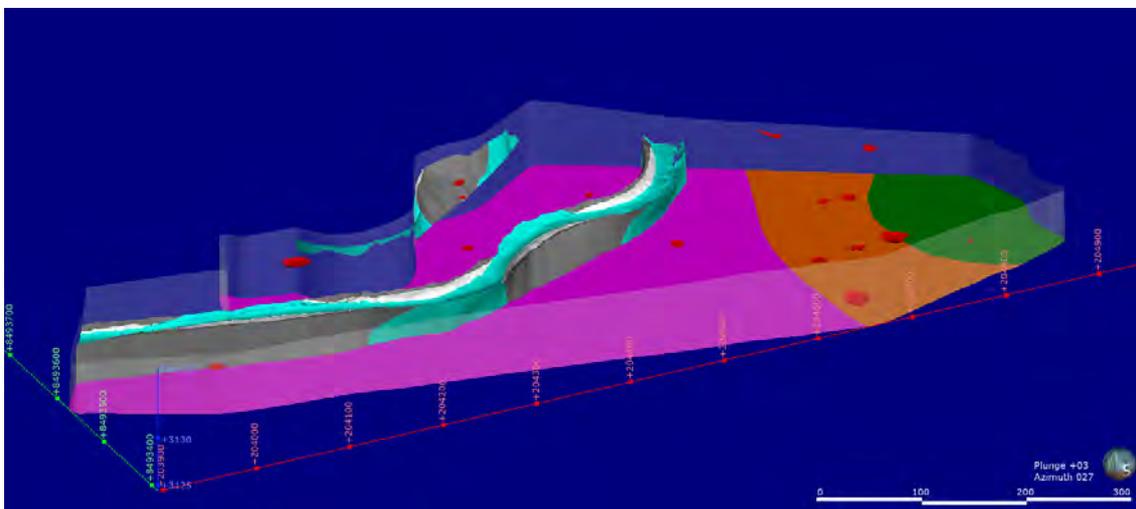


Figura 65. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 2

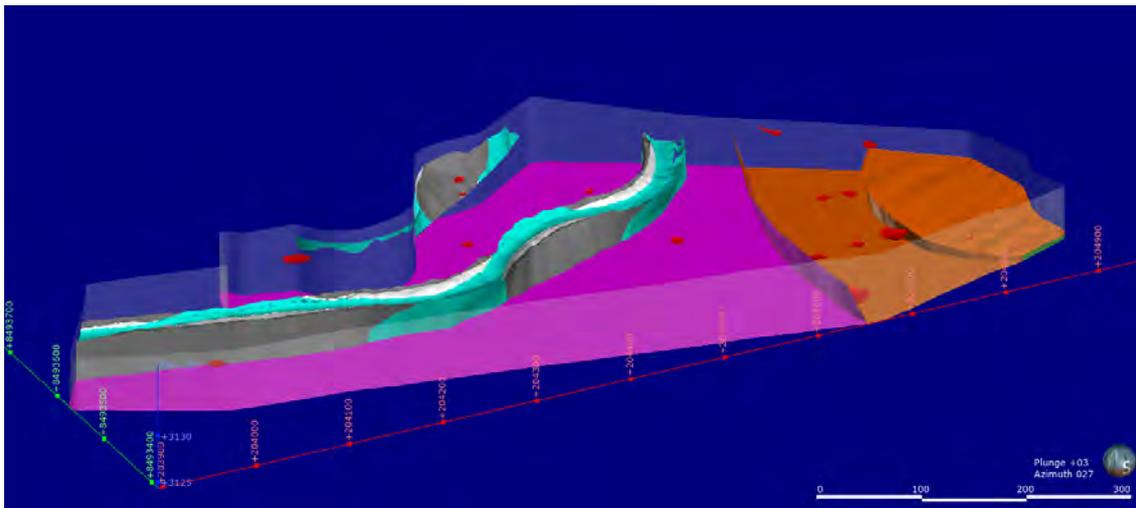


Figura 66. Completado de unidades sobre modelo litoestratigráfico, 3

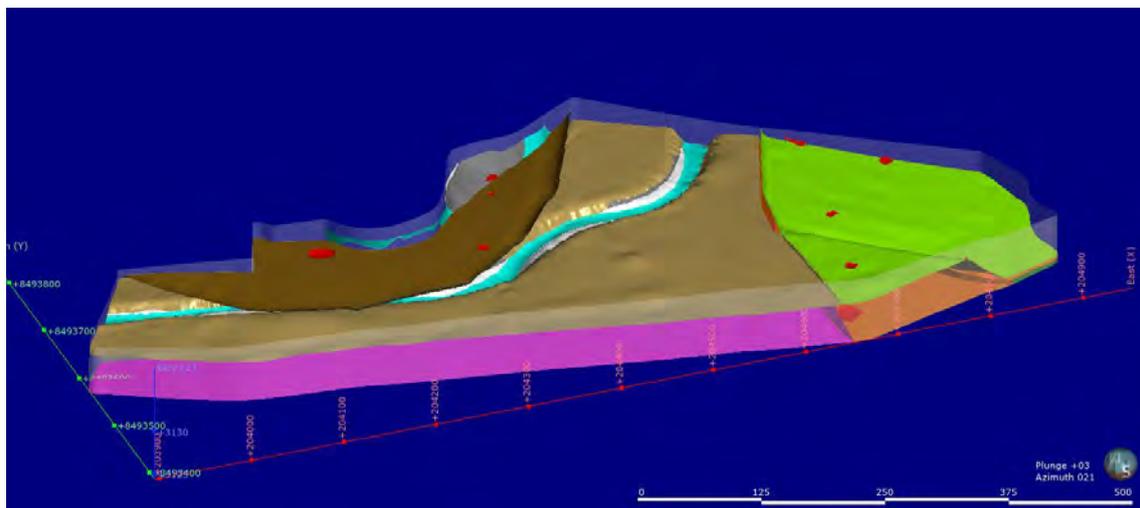
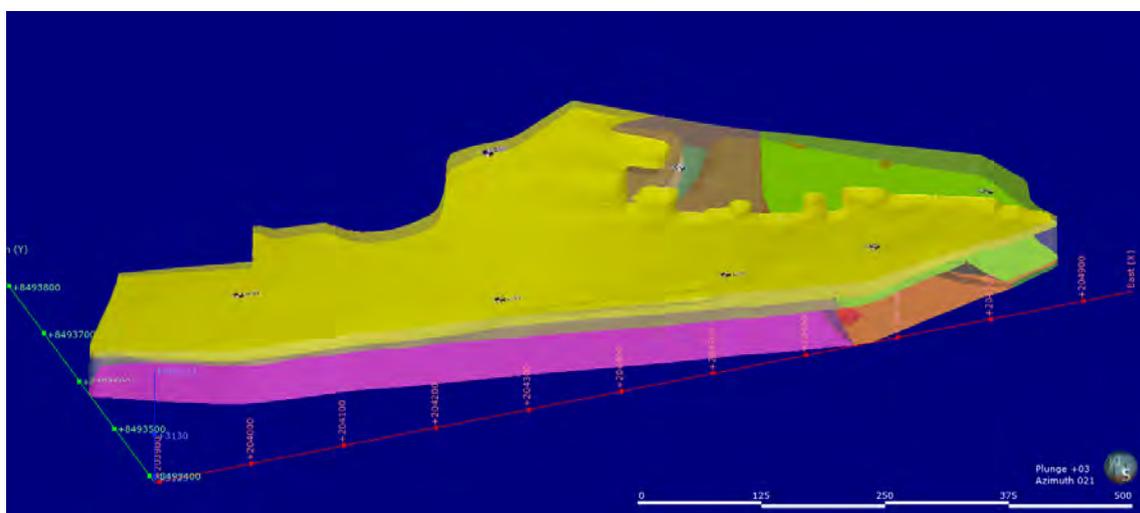


Figura 67. Modelo tridimensional geotécnico final



Para un mejor detalle y comprensión de distribución geoespacial en el modelo 3D geotécnico a continuación, se adjunta todos sus cortes en su respectiva vista de modelo tridimensional.

Figura 68. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 3-4

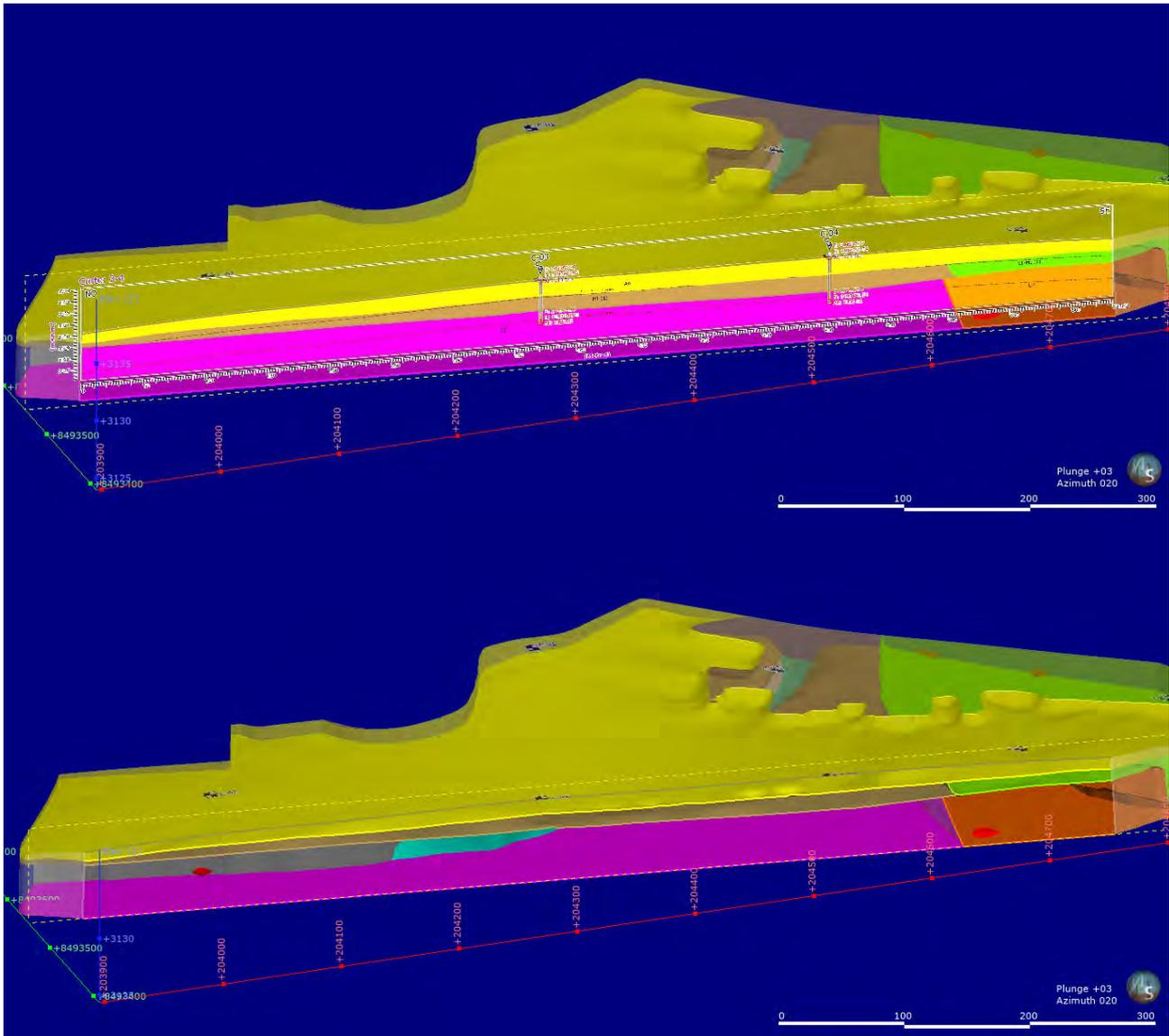


Figura 69. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 2-3

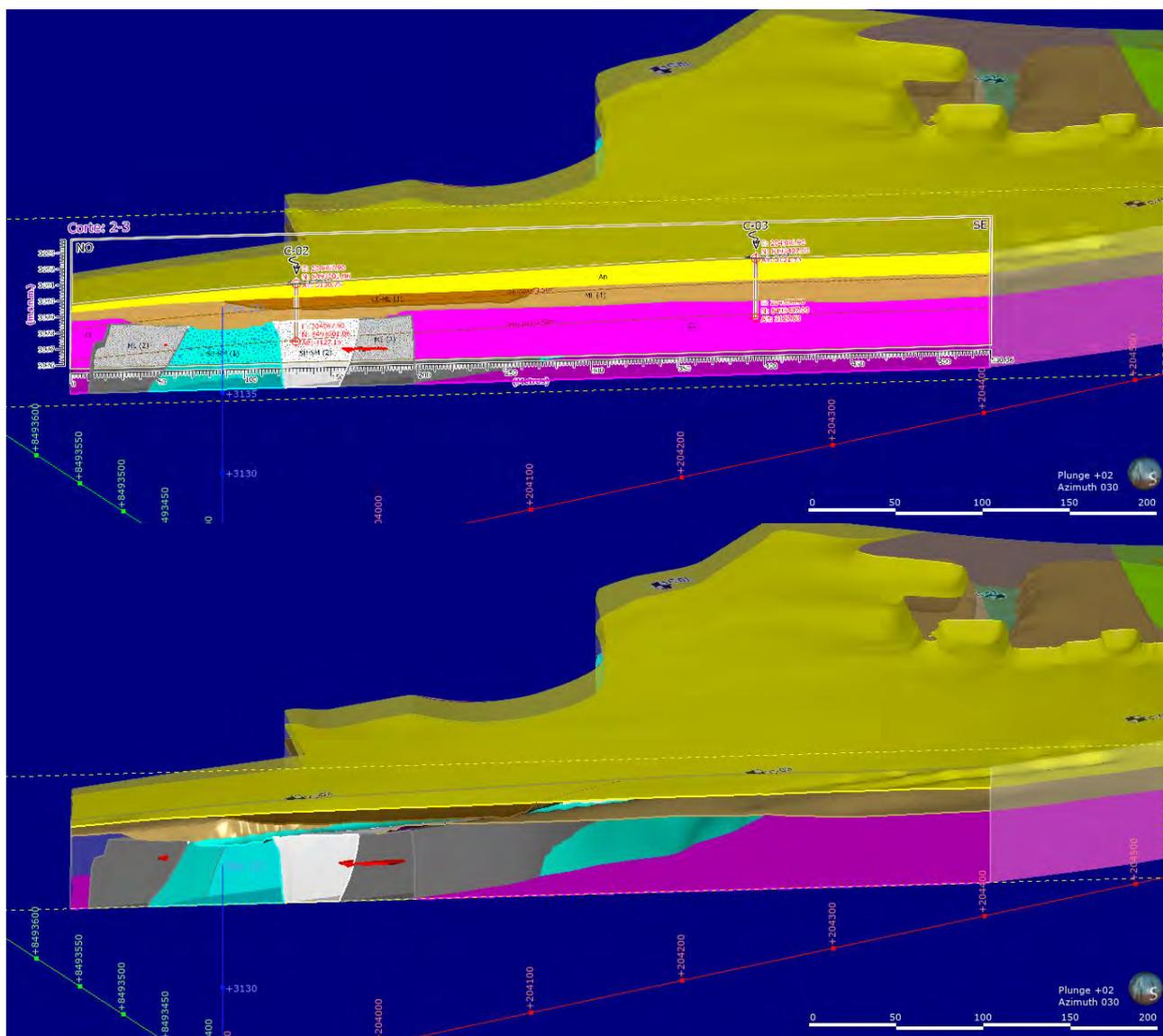


Figura 70. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-6

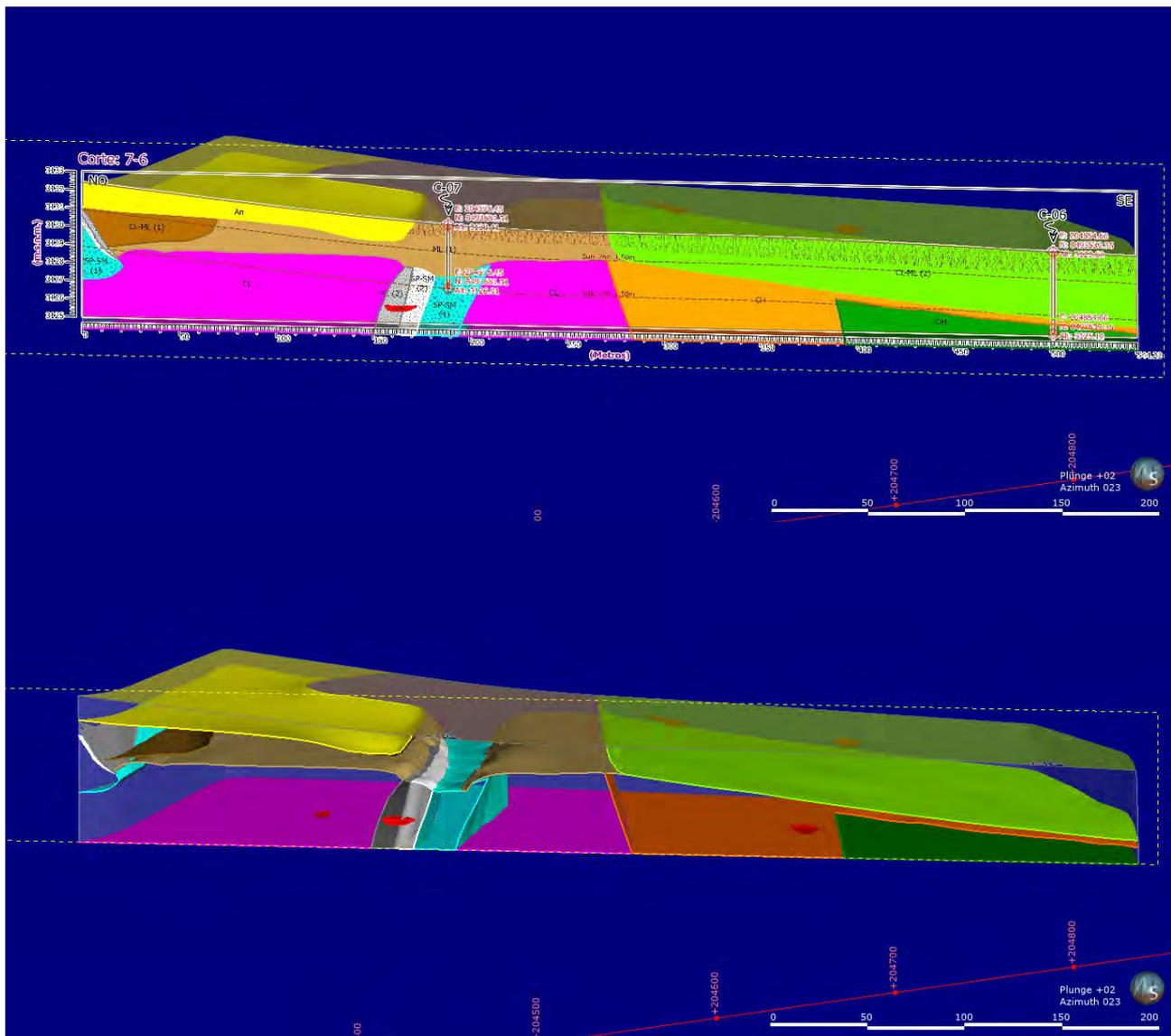


Figura 71. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 4-5

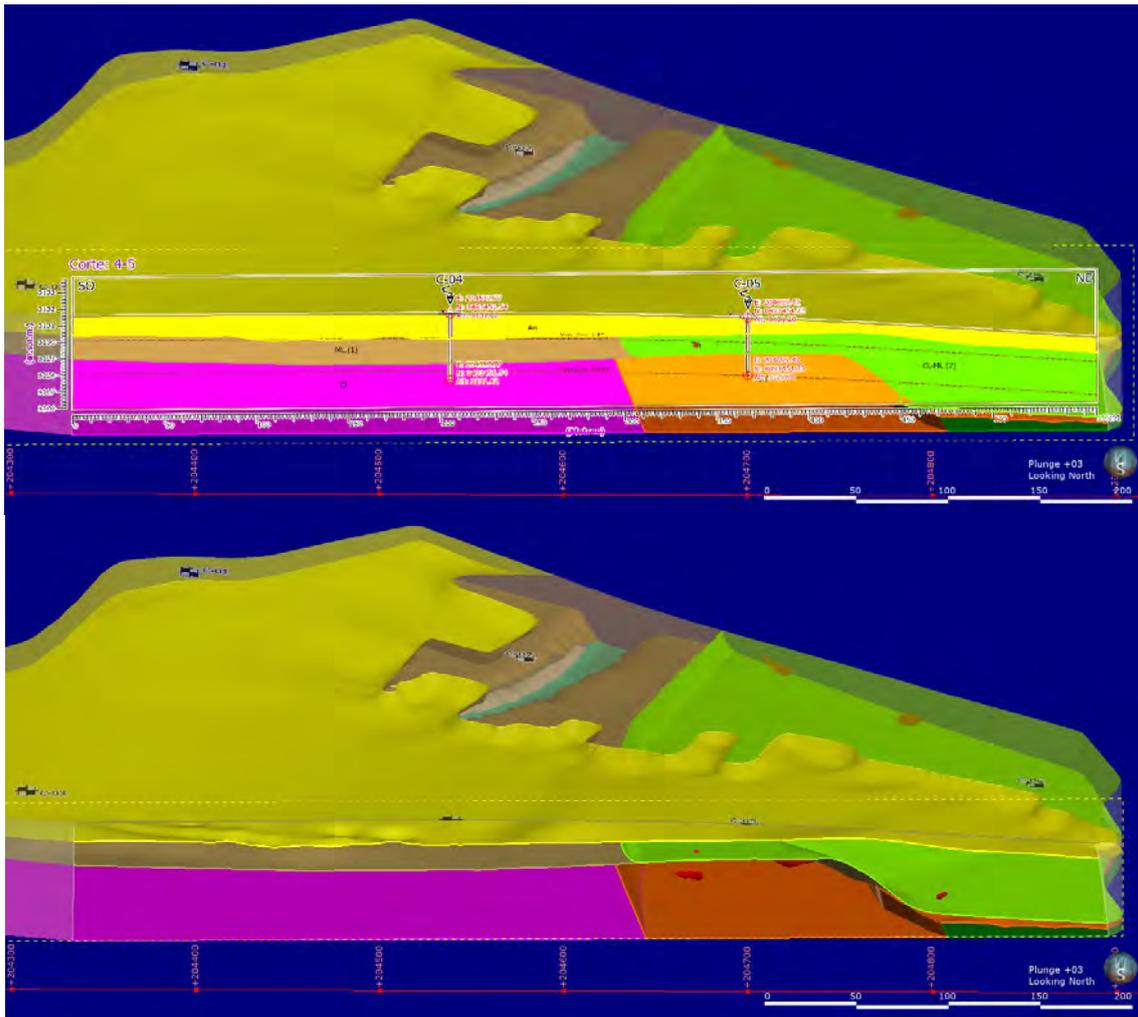


Figura 72. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-7

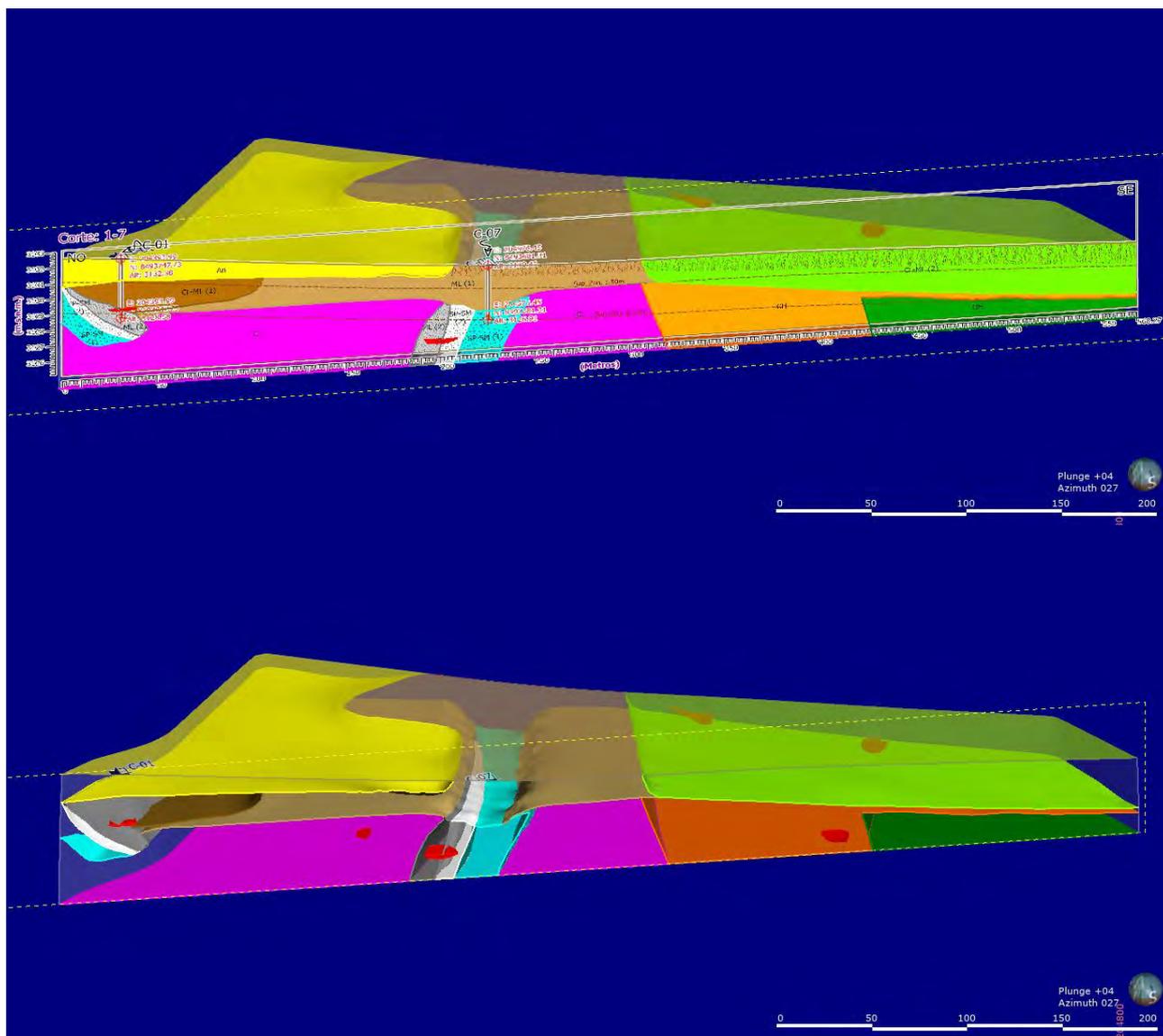


Figura 73. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 2-1

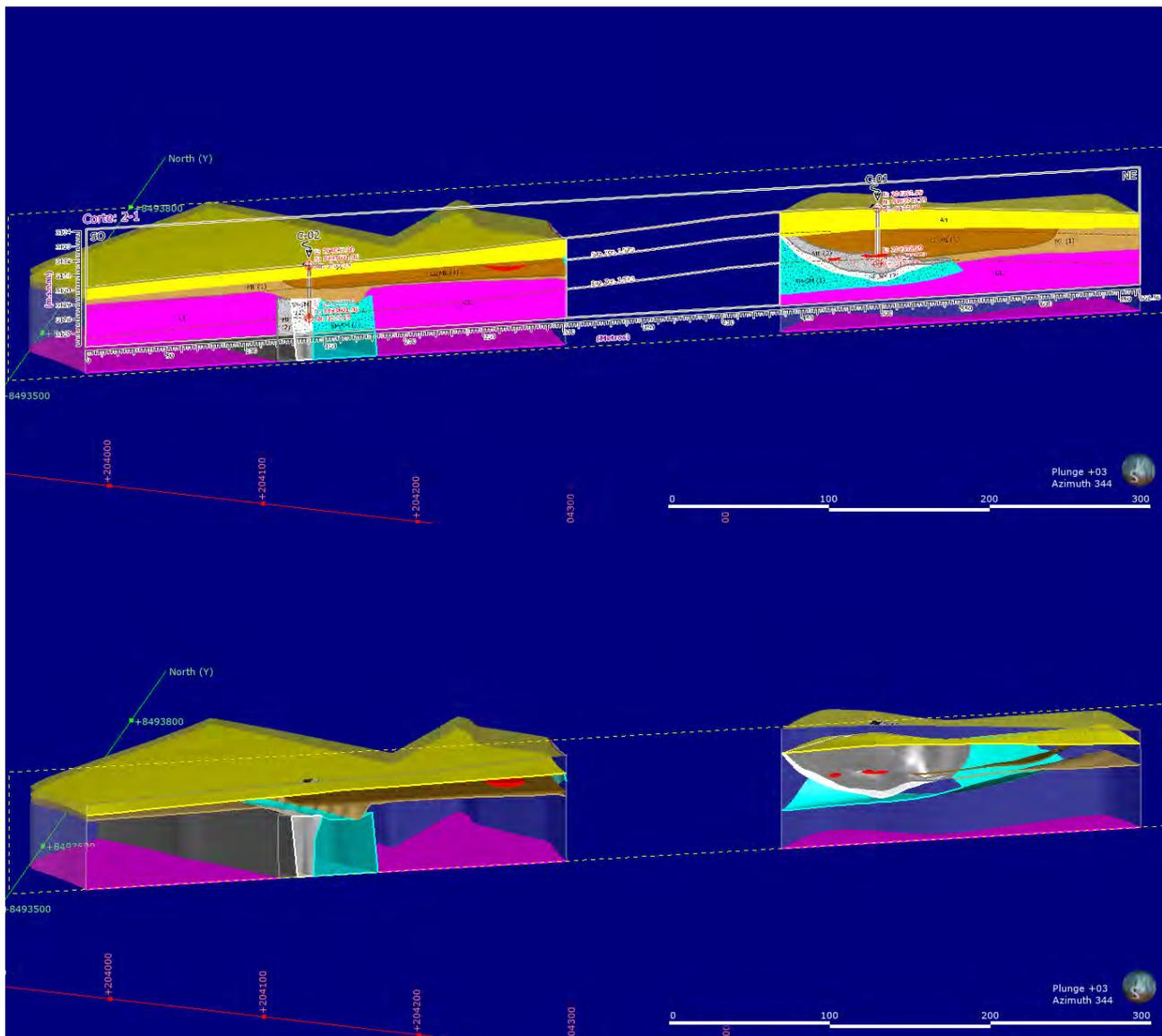


Figura 74. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-5

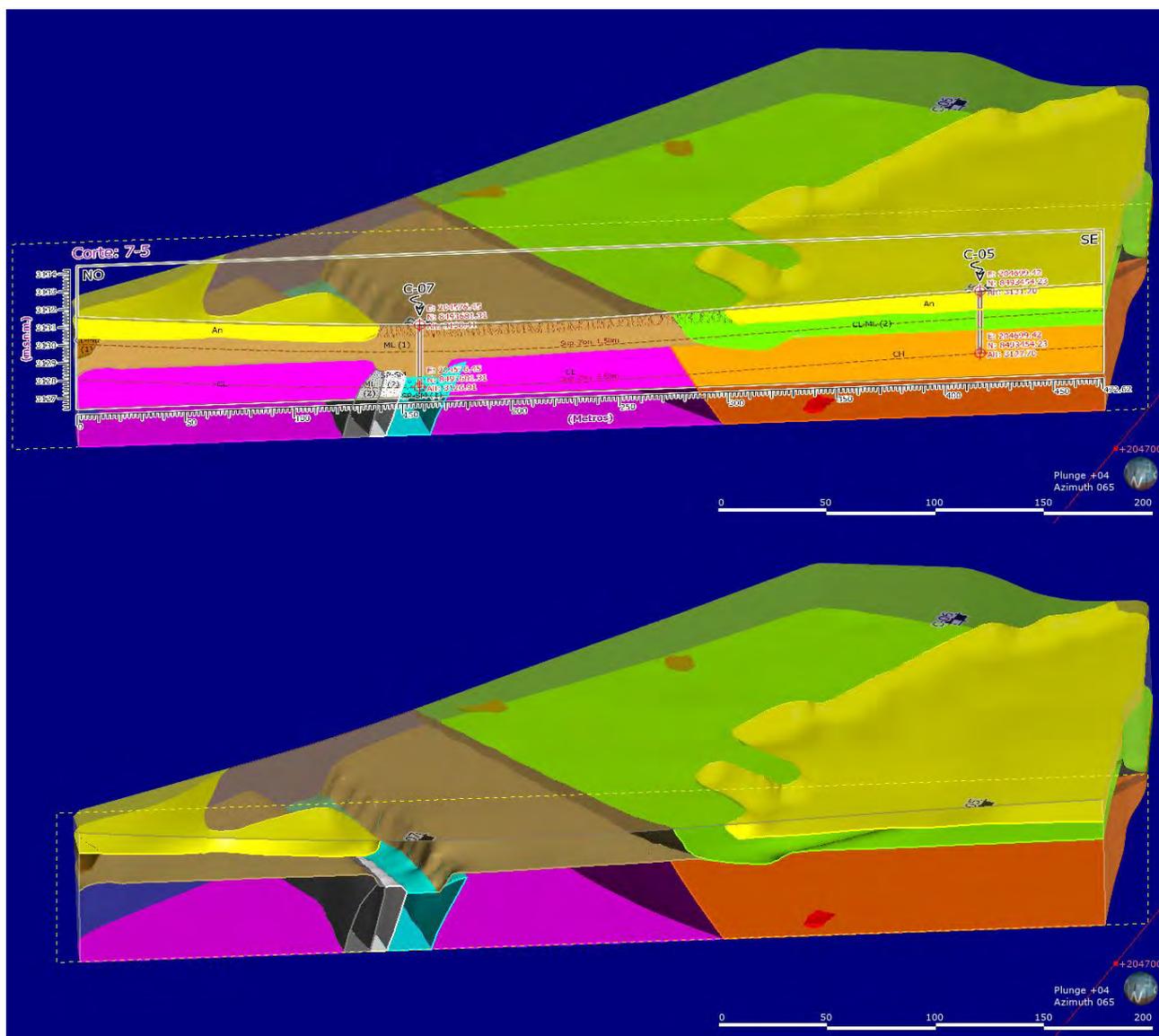


Figura 75. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-4

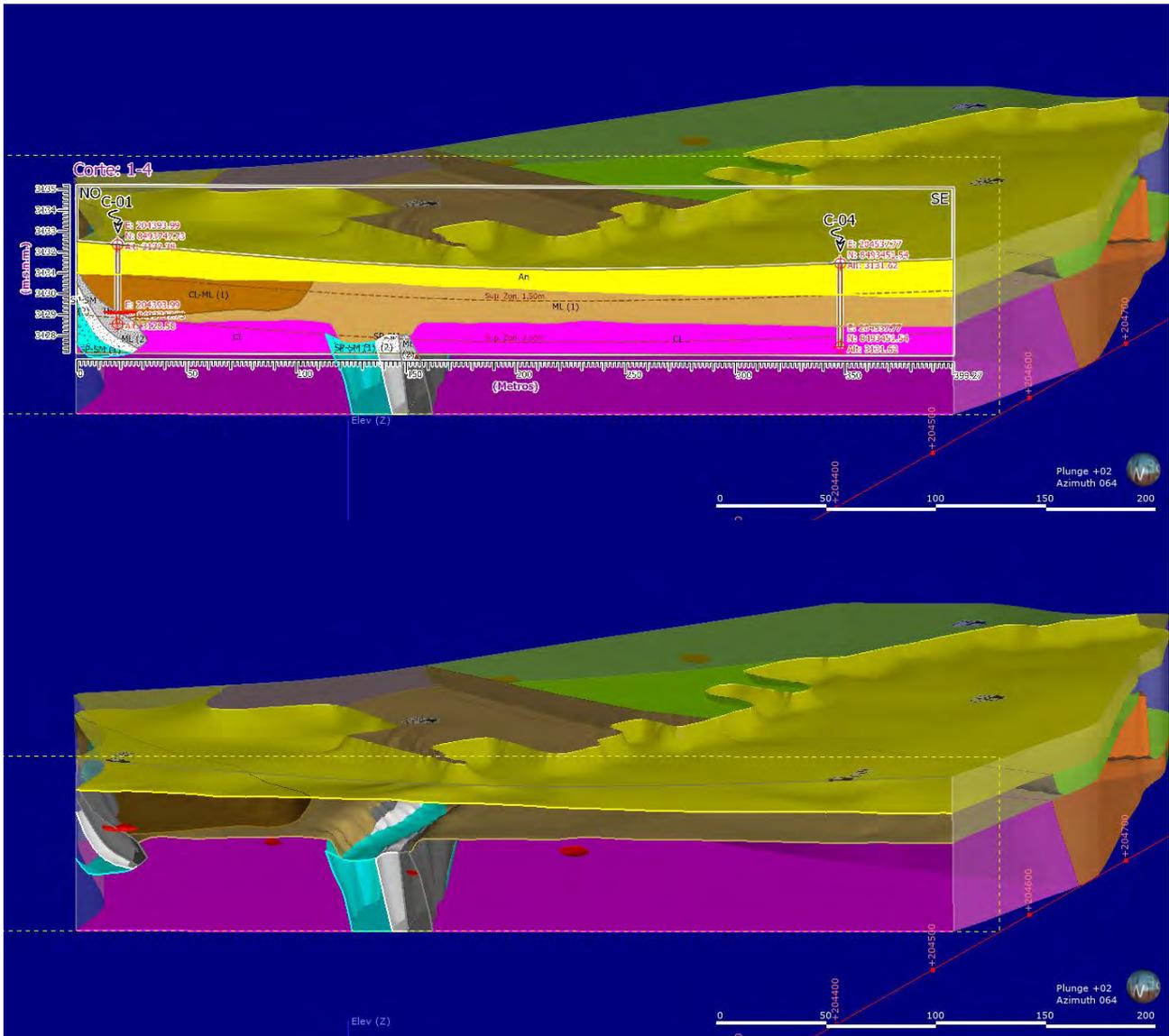


Figura 76. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 7-4

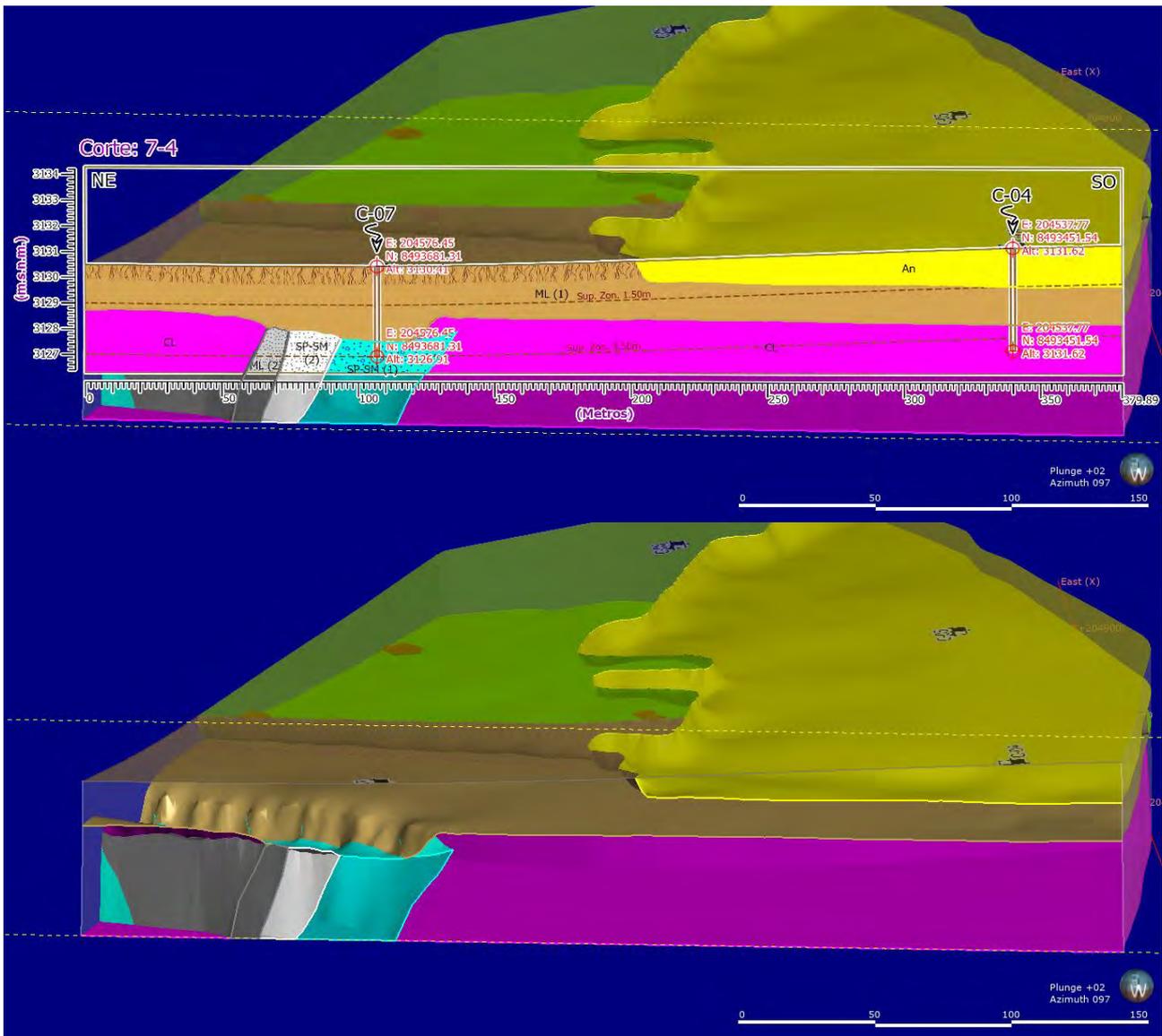


Figura 77. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 5-6

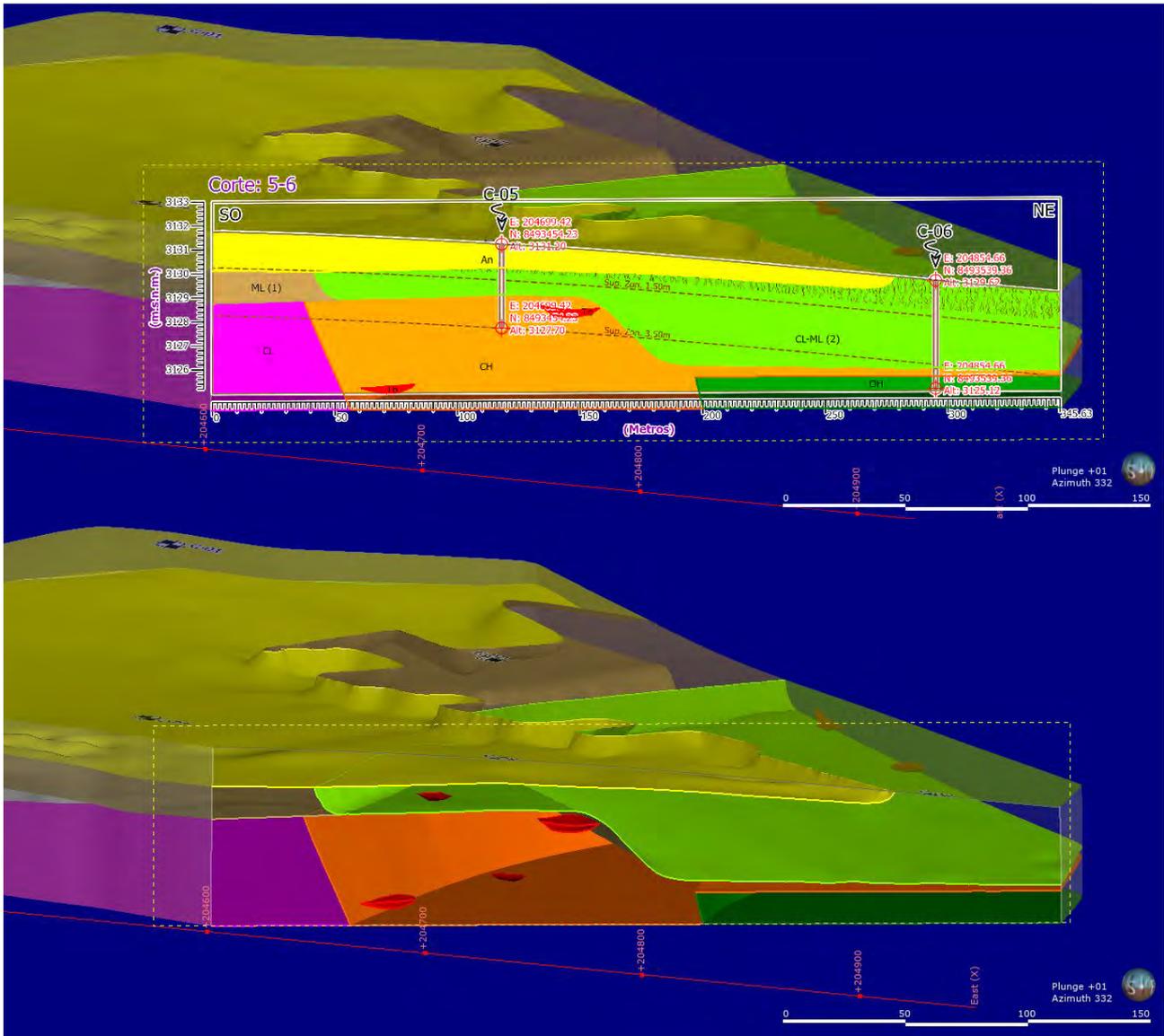
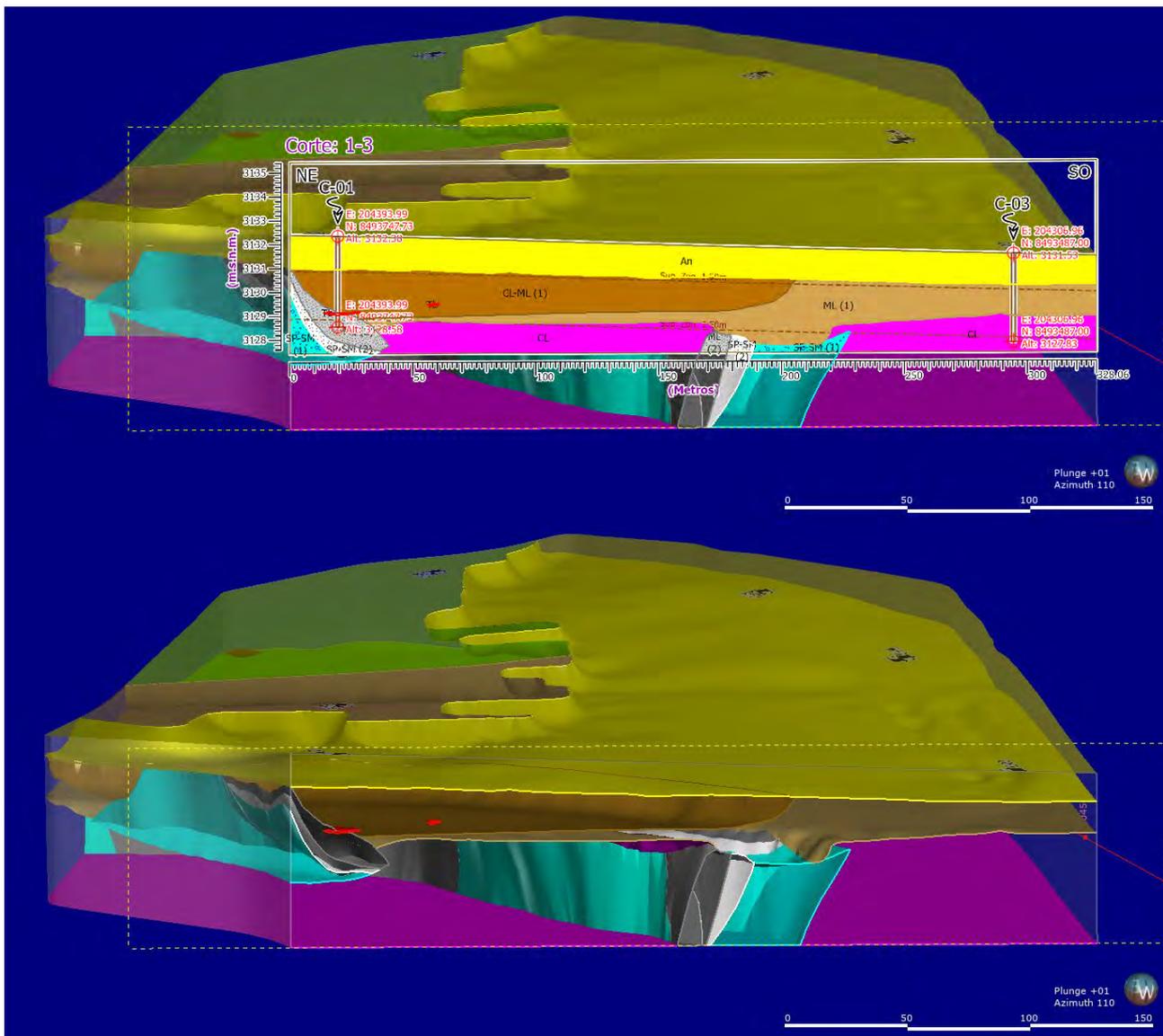


Figura 78. Vista del modelo 3D geotécnico para el corte 1-3



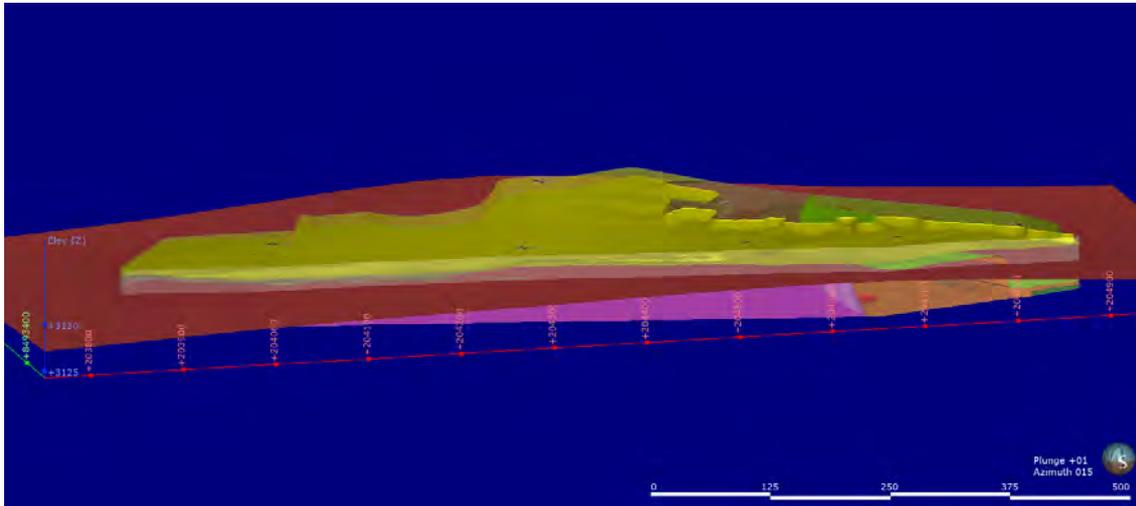
### 10.5. Superficies de zonificación geotécnica

Con el modelo geotécnico completado, se trazó dos superficies que cortan a todo el diseño tridimensional de manera transversal, a profundidades de 1.50m y 3.50m de profundidad con respecto al nivel de superficie de terreno. El objeto de trazar dichos planos es para que sean tomados como base en la zonificación geotécnica del Área Huacarpay.

### 10.5.1. Superficie de zonificación a 1.50m de profundidad

A continuación, se presenta la secuencia de corte de la superficie zonificante sobre el modelo geotécnico.

*Figura 79. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 1*



*Figura 80. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 2*

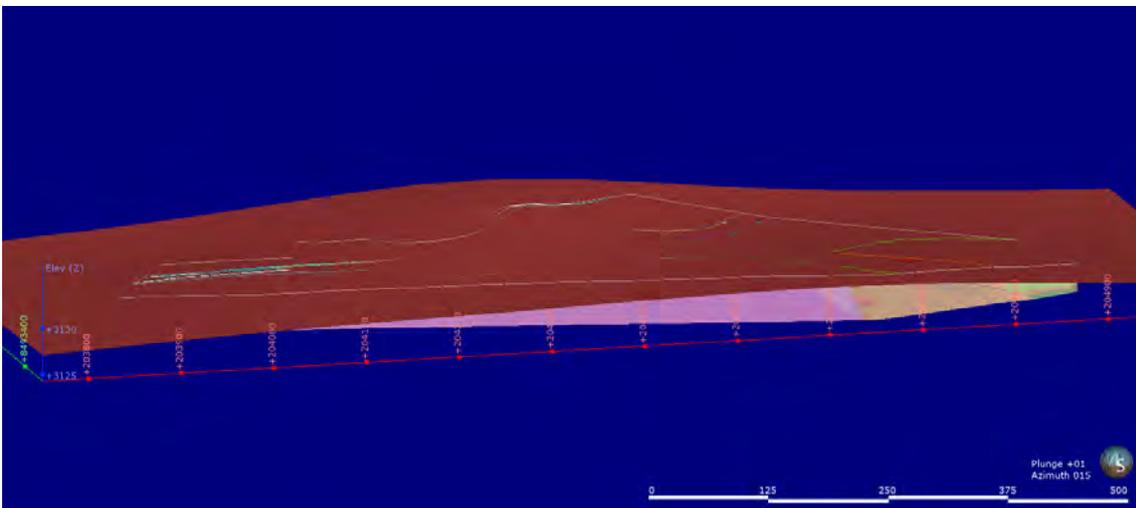


Figura 81. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 3

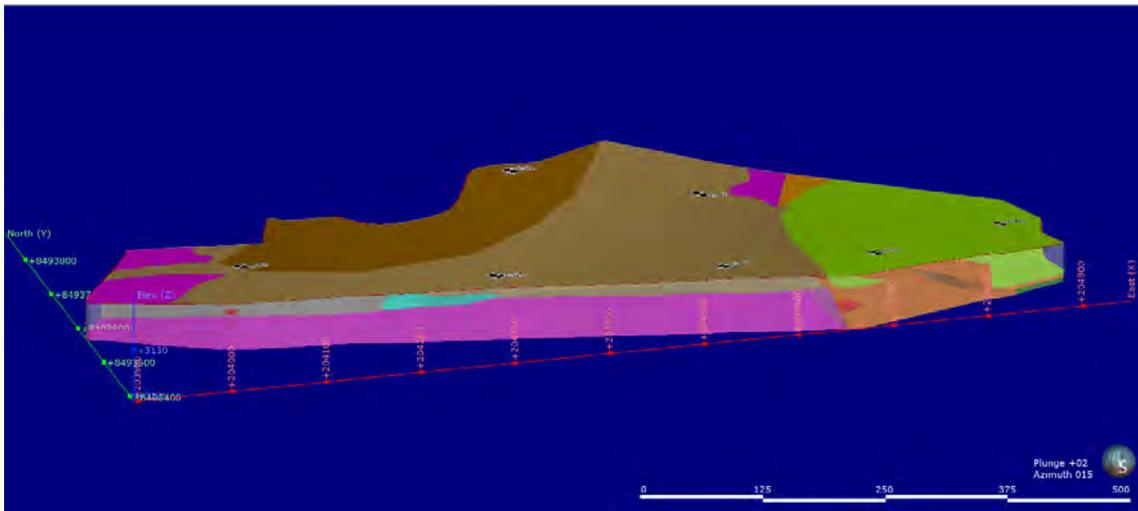


Figura 82. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 1.50m de profundidad, 4

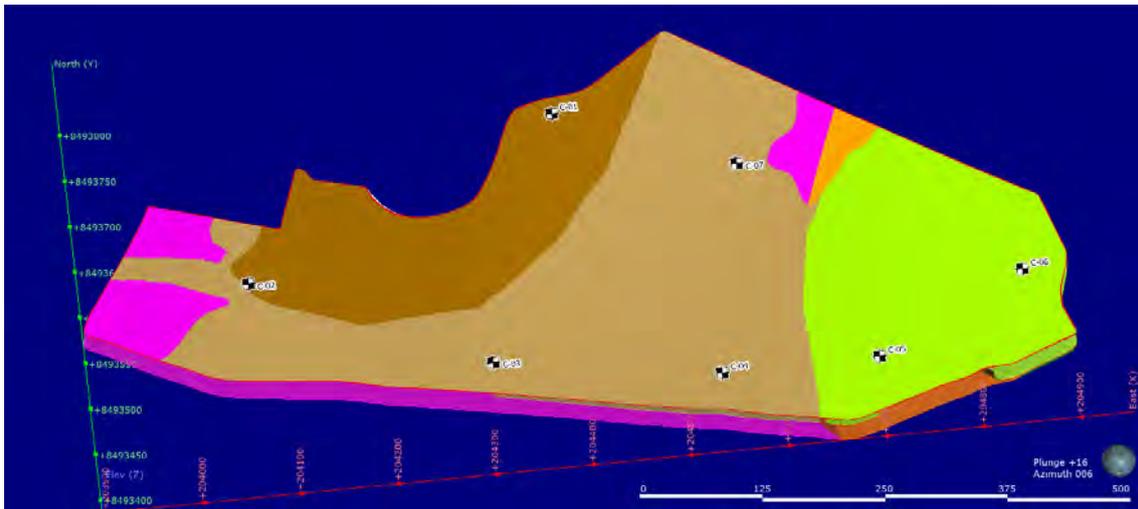


Figura 83. Vista de modelo geotécnico 3D, cortado a 1.50m de profundidad



### 10.5.2. Superficie de zonificación a 3.50m de profundidad:

Las figuras siguientes muestran la secuencia de cortado de la superficie zonificante a 3.50m de profundidad, en el modelo geotécnico.

Figura 84. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 1

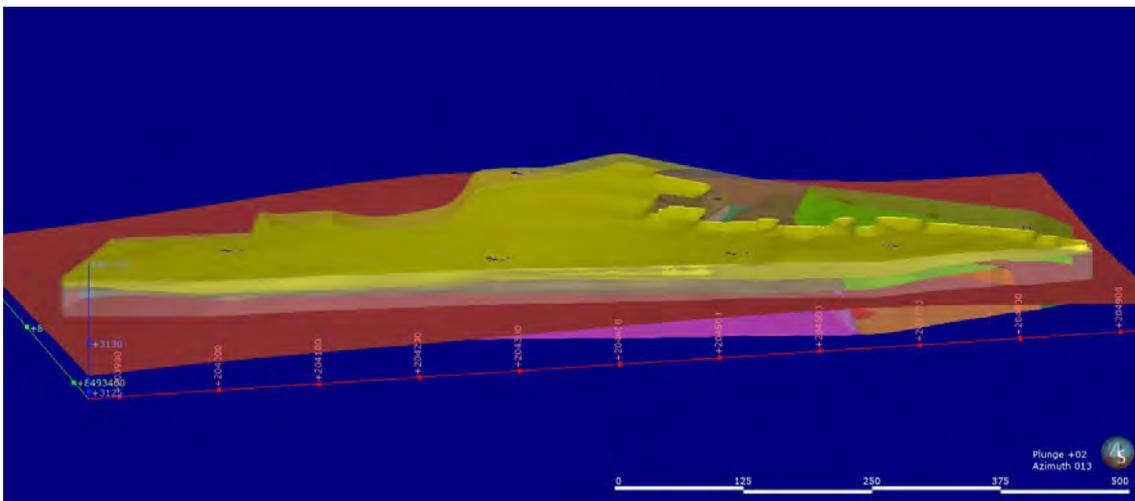


Figura 85. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 2

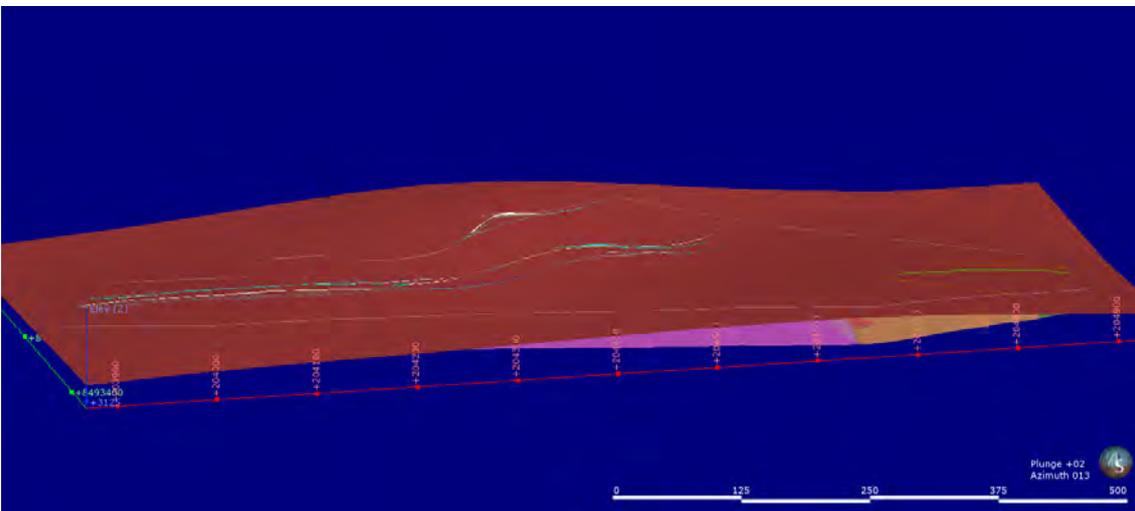


Figura 86. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 3

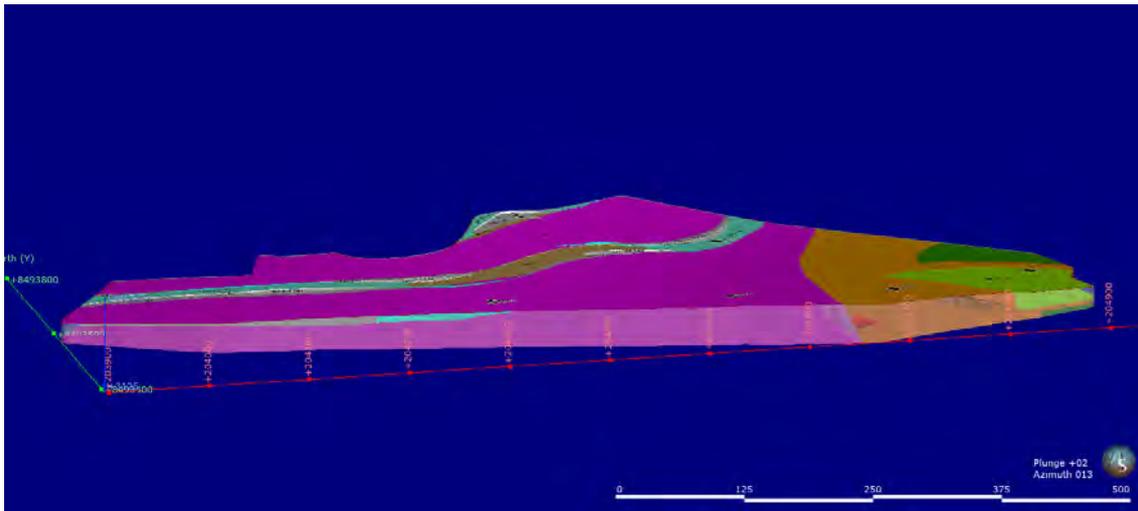


Figura 87. Secuencia de corte en modelo geotécnico 3D para zonificación a 3.50m de profundidad, 4

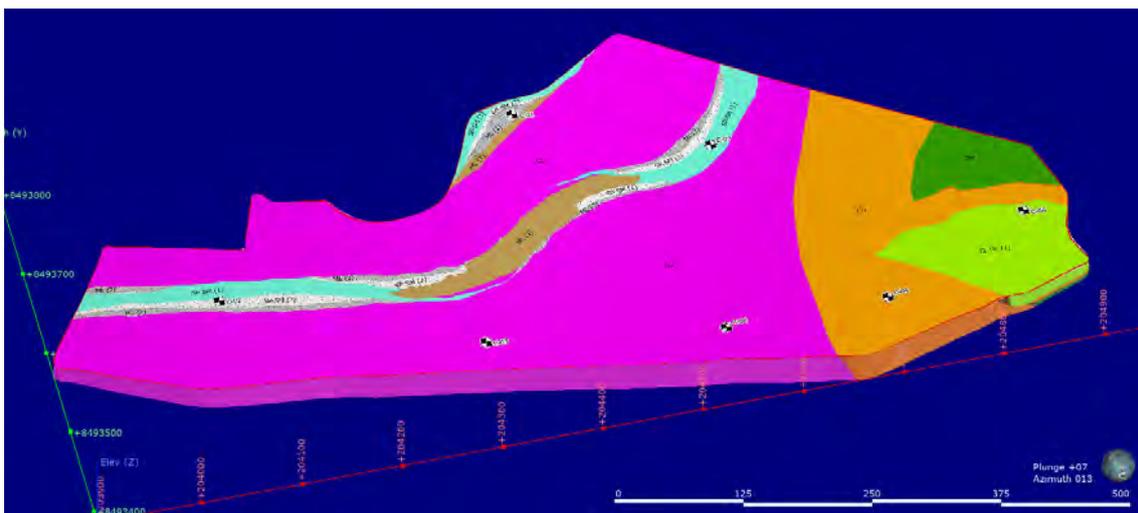
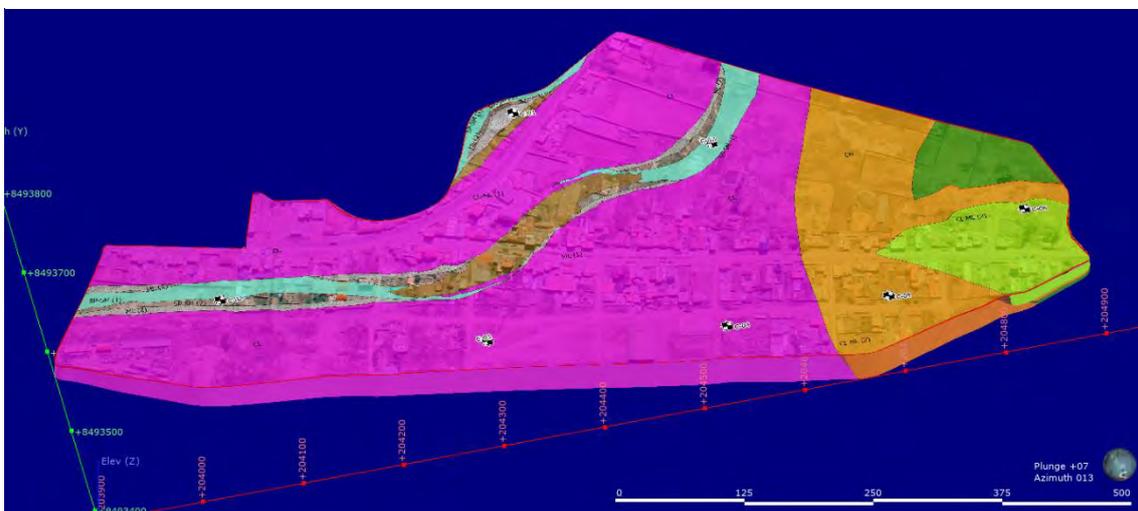


Figura 88. Vista de modelo geotécnico 3D, cortado a 3.50m de profundidad



## 10.6. Unidades de zonificación geotécnica

Es importante recordar que el modelo geotécnico está basado en la clasificación unificada de suelos SUCS, el cual toma una relevancia importante en la diferenciación de parámetros geotécnicos; por lo que, los cálculos geotécnicos integrados en estas zonas se mantienen y se delimitan en base a la mencionada clasificación. En consecuencia, cada unidad SUCS vendría a formar una zona geotécnica diferente.

En dichas zonas geotécnicas, para definir un orden jerárquico entre ellas, se dio valores ponderados del 1 al 8 para la zonificación a 3.50m de profundidad, tanto para rangos de capacidades admisibles como para asentamientos totales; donde el valor 1 hace referencia a zonas geotécnicas más estables, en contraparte, el valor extremo de 8 hace referencia a zonas geotécnicas menos estables. Así mismo, se definió el mismo criterio de ponderación de valores para la zonificación a 1.50m de profundidad, con la diferencia de que ahora adquiere valores del 1 al 5, debido a que en esta profundidad solo se presentan 5 zonas geotécnicas.

En base a esta clasificación es que se ordenó la secuencia u orden de zonas en las zonificaciones finales.

*Tabla 71. Ponderación de valores para zonificación a 1.50m de profundidad*

UNIDADES SUCS		PONDERACION DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS									
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> ) / Df(m):1.50m				Asentamientos (cm) / Df(m):1.50m				Jerarquización final	
		R mín.	R máx.	Media	Valor	R mín.	R máx.	Media	Valor	Valor prom.	Zona geotec.
CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41	0.48	0.445	3	6.35	13.34	9.845	2	2.5	2
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.4	0.57	0.485	2	3.92	11.06	7.49	1	1.5	1
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36	0.42	0.39	5	5.83	14.82	10.325	3	4	4
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.39	0.47	0.43	4	6.99	14.44	10.715	5	4.5	5
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.45	0.69	0.57	1	4.54	16.43	10.485	4	2.5	3

*Tabla 72. Ponderación de valores para zonificación a 3.50m de profundidad*

UNIDADES SUCS		PONDERACION DE PARAMETROS GEOTÉCNICOS									
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> ) / Df(m):3.50m				Asentamientos (cm) / Df(m):3.50m				Jerarquización final	
		min.	máx.	Media	Valor	min.	máx.	Media	Valor	Valor prom.	Zona geotec.
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.63	0.79	0.71	5	3.71	8.95	6.33	5	5	5
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.64	0.86	0.75	4	4.04	10.6	7.32	6	5	6
ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	0.54	0.69	0.615	7	3.21	6.93	5.07	3	5	4
SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	2.15	2.46	2.305	1	0.48	1.12	0.8	1	1	1
SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	2.04	2.35	2.195	2	0.59	1.22	0.905	2	2	2
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.53	0.85	0.69	6	5.11	12.36	8.735	7	6.5	7
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.81	1.06	0.935	3	2.69	9.88	6.285	4	3.5	3
OH	Arcilla organica	0.46	0.756	0.608	8	7.34	15.47	11.405	8	8	8

### 10.6.1. Zonificación geotécnica a 1.50m de profundidad:

El orden de unidades de zonificación se muestra en la tabla siguiente, junto a sus parámetros geotécnicos de capacidades admisibles, asentamientos totales y susceptibilidad de licuefacción.

Tabla 73. Cuadro final de parámetros geotécnicos para zonificación geotécnica a 1.50m de profundidad

UNIDADES SUCS					ZONAS GEOT.		PARÁMETROS GEOTÉCNICOS		EXTENSIÓN		
Código	Descripción	% de Material			Índice de plast.%	Código	Descr.	CP (kg/cm2)	Asent. (cm)	Área (m2)	Porc. (%)
		%Gravas	%Arenas	%Finos				Df(m):1-50m	Df(m):1-50m		
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.00%	20.73%	79.27%	2.00%	Z-1	Zona 1	0.40 - 0.57	3.92 - 11.06	124464.84	48.17%
CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.01%	20.31%	79.68%	7%	Z-2	Zona 2	0.41 - 0.48	6.35 - 13.34	50817.15	19.67%
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.00%	2.05%	97.95%	97.95%	Z-3	Zona 3	0.45 - 0.69	4.54 - 16.43	2837.06	1.10%
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.00%	3.05%	96.95%	16.00%	Z-4	Zona 4	0.36 - 0.42	5.83 - 14.82	16430.63	6.36%
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.0%	14.24%	85.76%	85.76%	Z-5	Zona 5	0.39 - 0.47	6.99 - 14.44	63833.73	24.71%

### 10.6.2. Zonificación geotécnica a 3.50m de profundidad:

En la siguiente tabla se detallan las unidades de zonificación, junto con sus parámetros geotécnicos de capacidad admisible, asentamiento total y susceptibilidad a la licuefacción.

Tabla 74. Cuadro final de parámetros geotécnicos para zonificación geotécnica a 3.50m de profundidad

UNIDADES SUCS					ZONAS GEOT.		PARÁMETROS GEOTÉCNICOS		EXTENSIÓN		
Código	Descripción	% de Material			Índice de plast.%	Código	Descr.	CP (kg/cm2)	Asent. (cm)	Área (m2)	Porc. (%)
		%Gravas	%Arenas	%Finos				Df(m):3.50m	Df(m):3.50m		
SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	0.28%	92.16%	7.57%	7.57%	Z-1	Zona 1	2.15 - 2.46	0.48 - 1.12	5533.62	2.14%
SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	16.62%	73.60%	9.78%	NP	Z-2	Zona 2	2.04 - 2.35	0.59 - 1.22	12055.91	4.66%
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.00%	2.05%	97.95%	0.979531	Z-3	Zona 3	0.81 - 1.06	2.69 - 9.88	41723.56	16.14%
ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	0.01%	31.04%	68.95%	NP	Z-4	Zona 4	0.54 - 0.69	3.21 - 6.93	6606.60	2.56%
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.00%	20.73%	79.27%	2.00%	Z-5	Zona 5	0.63 - 0.79	3.71 - 8.95	8428.66	3.26%
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.00%	3.05%	96.95%	16.00%	Z-6	Zona 6	0.64 - 0.86	4.04 - 10.60	159606.80	61.75%
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.0%	14.24%	85.76%	85.76%	Z-7	Zona 7	0.53 - 0.85	5.11 - 12.36	15827.43	6.12%
OH	Arcilla organica	0.00%	0.84%	99.16%	68%	Z-8	Zona 8	0.46 - 0.756	7.34 - 15.47	8683.80	3.36%

## CONCLUSIONES

1. Geomorfológicamente, la colina al NO del centro poblado Huacarpay posee una composición volcánica, la franja de montaña baja al Este, adquiere una composición sedimentaria estructural; y la extensa llanura se subdivide en base a una composición fluviolacustrina y lacustrina.
2. Litoestratigráficamente, la colina baja al NO del centro poblado Huacarpay, presenta una composición volcánica shoshonítica rica en potasio producto de la formación Rumicolca; de igual manera, la montaña baja estructural compone de areniscas fluviales deltaicas y someras marinas de la formación Huancané. Estas unidades rocosas bordean un ambiente cuaternario lacustre-fluvial por la presencia de la laguna Huacarpay y el curso del río Huatanay, que recorre los depósitos lacustrinos sedimentados de la laguna mencionada; pero bajo un comportamiento pseudomeandriforme.
3. Geoestructuralmente, la falla inversa Cusco de dirección NO-SE, resalta su presencia en la zona de estudio regional, junto al sistema de fallas Urcos – Sicuani – Ayaviri (USA). La cual tuvo reactivaciones produciendo fallas normales nuevas y superpuestas, evidenciándose localmente en la zona de estudio y dentro de la franja de montaña baja de la formación Huancané, junto a pliegues y dos familias de diaclasas, todas con una tendencia SO-NE. Por otro lado, la reactivación de la falla Cusco generó una zona de subsidencia en los suelos de fundación del CP Huacarpay, dicho desnivel se muestra con mayor notoriedad, en la sección transversal de las calicatas C-05 y C-06.
4. Los niveles freáticos en los suelos de fundación de la zona de estudio local se presentan de manera constante a través de la retención de cuerpos de agua en materiales porosos poco permeables (arcillas orgánicas, C-06), mantención de flujos

subsuperficiales y acumulaciones de agua estancada en contactos litoestratigráficos donde existen contrastes marcados de permeabilidad (C-03) y por influencia directa de la laguna Huacarpay, así como del río Huatanay. Es por todo ello que la presencia de agua subsuperficial en los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay tienen una presencia, se podría decir, errático pero constante.

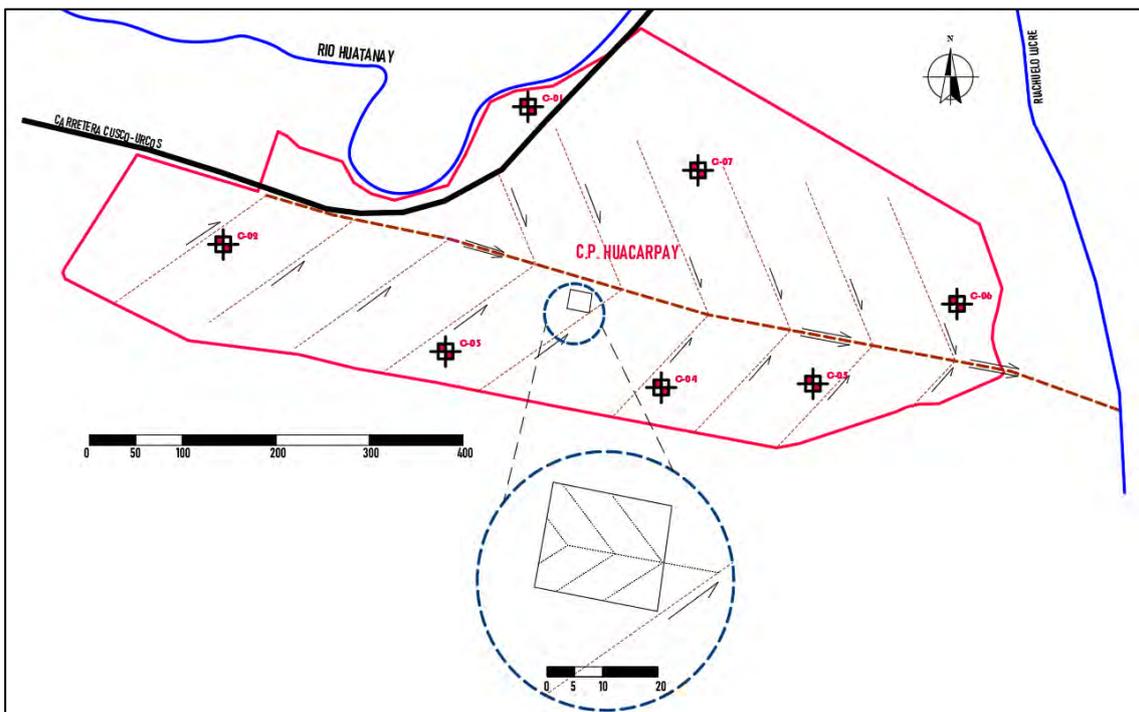
5. Se determinaron los parámetros geotécnicos más relevantes mediante ensayos de laboratorio, los cuales incluyen: **(1) Parámetros de resistencia**, donde la cohesión (C) varía entre 0 y 0.39 kg/cm<sup>2</sup>, y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) oscila entre 22.1° y 32.78°; **(2) Parámetros elásticos**, con módulos de elasticidad (E) que van desde 560 hasta 2500 tn/m<sup>2</sup> y un coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) entre 0.30 y 0.32; y **(3) Parámetros edométricos**, donde el índice de compresión (Cc) presenta valores de 0.04219 a 0.16664, el índice de recompresión (Cr) varía entre 0.00766 y 0.04972, y la relación de vacíos ( $e_0$ ) se encuentra en el rango de 0.51 a 1.21.
6. Se establecieron los parámetros geotécnicos para la zonificación, dando como resultado: **(1) las capacidades admisibles** de los suelos arenosos bien graduados (SP-SM) presentan una resistencia al corte de 1.5 a 2.5 kg/cm<sup>2</sup>; en contraparte, los suelos finos como limos (ML) y arcillas (CL-ML, CL, CH, OH) tienen baja resistencia al corte de 0.4 a 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, cabe aclarar que estos valores corresponden a los suelos naturales evaluadas en condiciones no drenadas. **(2) Los asentamientos totales** en las arenas mal graduadas con limo (SP-SM) son mínimos menores a 2cm, siendo los más estables; en cambio los suelos limo-arcillosos (ML, CL-ML, CL) presentan asentamientos moderados a altos desde 2 a 10 cm, mientras que las arcillas plásticas (CH) y orgánicas (OH) registran los mayores asentamientos de hasta 20 cm esto debido a alta deformabilidad que tienen.

7. El estudio geológico (caracterización geológica), junto al estudio geotécnico (determinación y análisis de parámetros geotécnicos), fue plasmado en un modelo geotécnico tridimensional explícito final de los suelos de fundación del centro poblado Huacarpay; donde, a 1.50m y 3.50m de profundidad con respecto al nivel de superficie, se plasmaron 2 cortes transversales, dando como resultado 2 mapas de zonificación geotécnica a las profundidades indicadas. Dando como resultado 5 zonas geotécnicas a la profundidad de 1.50m y 8 zonas a la profundidad de 3.50m, ordenadas y distribuidas según sus capacidades admisibles bajo un factor de seguridad de 3 y asentamientos totales.

## RECOMENDACIONES

1. Las unidades del modelo 3D litoestratigráfico y geotécnico se basan en una completa interpretación, análisis y correlación de información bibliográfica y determinada en campo, por lo que dichos resultados no son datos 100% verídicos, en áreas ajenas a las calicatas de exploración donde toma la posición de un resultado teórico y más probable a la realidad. En base a ello se recomienda tener los resultados de trabajo desarrollado, como una base de información técnica, mas no como un acierto total, en caso se quiera usar esta información con fines de cimentación de estructuras, salvo en los puntos de exploración donde si se hizo una identificación directa.
2. El estudio geotécnico en el C.P. Huacarpay, limitado a calicatas de 4.0 m de profundidad y 5.0m del modelo tridimensional, determinó la inviabilidad de cimentaciones superficiales (zapatas) debido a los asentamientos excesivos que generarían en los suelos lacustres blandos. Por este motivo, se recomienda descartar este sistema y desarrollar un diseño de cimentación alternativo, previa ejecución de una investigación complementaria con sondeos profundos que permitan localizar estratos resistentes a mayor profundidad. Una vez identificada la cota de apoyo competente, las alternativas a evaluar según su robustez y aplicabilidad serían: 1) pilotes o micropilotes como solución estructural principal, 2) losa de cimentación para distribuir cargas de forma uniforme, o 3) para proyectos de bajo presupuesto, soluciones condicionadas como pilotes de madera o columnas de grava, las cuales requieren un diseño especializado y control riguroso. La selección final dependerá tanto de los resultados del nuevo estudio geotécnico como de la envergadura y cargas del proyecto.

3. Para el C.P. Huacarpay, se propone a 1.50m de profundidad como mínimo un sistema integral de subdrenaje en doble escala que combina una red principal de macrodrenaje (colector troncal en calles principales y drenes secundarios en Espina de Pescado) para controlar el flujo subterráneo a nivel regional, y sistemas de microdrenaje perimetral o en espina de pescado en cada edificación para protección local. Este sistema intercepta y evacua el agua freática mediante zanjas con pendiente hidráulica (0.5%-1.0%), revestidas con geotextil no tejido y tuberías drenantes envueltas en material granular permeable, reduciendo la humedad del suelo, aumentando la capacidad portante y garantizando la estabilidad y durabilidad de las cimentaciones y estructuras.



4. Debido a la presencia de sulfatos en suelos y posible contenido en aguas subterráneas, es imprescindible proteger las cimentaciones mediante recubrimientos impermeabilizantes (como membranas asfálticas o polímeros) o utilizando cementos especiales (tipo V y sulforresistentes).

5. Aunque los materiales granulares en el área presentan una capacidad admisible moderada a alta ( $>1.50 \text{ kg/cm}^2$ ), es crucial que este estrato tenga un espesor considerable ( $>5 \text{ m}$ ) por debajo de la cimentación. Para verificar esta condición y evaluar la variabilidad de los estratos, se recomienda realizar ensayos de penetración estándar (SPT) o estudios geofísicos, asegurando así la estabilidad de la infraestructura.
6. En las zonas donde predominan suelos CH (arcilla altamente plástica) y OH (arcilla orgánica) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se prevén asentamientos elevados ( $>10\text{cm}$ ) para edificaciones de tres niveles. Según lo establecido en la Norma E.050 (Suelos y Cimentaciones), el nivel de desplante debe evitar apoyarse en estos materiales altamente compresibles para prevenir fallas estructurales.
7. Se recomienda la sustitución completa de los rellenos existentes, por constituir un estrato inadecuado y heterogéneo que genera riesgos de asentamientos diferenciales. La solución óptima es su remoción hasta alcanzar el suelo virgen y su reemplazo con un material granular de cantera, compactado en capas controladas hasta alcanzar una densidad no menor al 95% del Proctor Modificado. Esta intervención creará una subrasante competente y homogénea, asegurando la capacidad portante necesaria para las futuras estructuras (infraestructuras de cargas pequeñas) y permitiendo el uso de cimentaciones superficiales. La supervisión geotécnica durante la obra es crucial para garantizar los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arche, A. (2010). *Sedimentología, Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. CSIC, Colección de Textos Universitarios num. 46.
- Braja M., D. (2019). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*.
- Cardenas Roque, J., Carlotto Caillaux, V., & Carlier, G. (2011). *Geología del Cuadrangulo de Cusco 28-s Boletín N°138 Serie A*.
- Choque Quispe, N., & Montalvo Saldivar, C. (2012). *Evaluación de la Entomofauna Asociada al Molle. Huacarpay - Cusco*.
- Custodio, E., & Ramon LLamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea*. Barcelona, España.
- Das, B. M., & Khaled, S. (2016). *Principles of Geotechnical Engineering*. United States of America: CENGAGE Learnig.
- GEOCATMIN. (2023). <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>.
- Iasiello Galasso, C., & Guerra Torralbo, J. C. (2024). *Excavaciones bajo el nivel freático. Soluciones constructivas*. Madrid, España.
- INACAL. (2001). SUELOS. Metodo de Ensayo Normalizado para la Auscultación con Pentrometro Dinamico Ligero de Punta Conica (DPL). En NTP 339.129. Lima.
- INGEMMET. (2013). Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 55. Neotectonica y Peligro Sismico en la Region Cusco.
- INGEMMET. (2020). Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 74. Peligro Geologico en la Region Cusco.
- INGEMMET. (2021). Boletín Serie C: Geodinamica e Ingenieria Geologica. Caracterizacion morfoestructural y paleosismologica del sistema de fallas Pachatusan - Cusco.

INGEMMET. (2022). Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 88.

Expresión geomorfológica de tectónica activa y paleosismología en el Cusco:  
Caso Falla Tambomachay.

Instituto Nacional de Calidad [INCACAL]. (2019). SUELOS. Método de ensayo para  
determinar el contenido de humedad de un suelo (NTP 339.127). Obtenido de  
<https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/catalogo-bibliografico>

Lambe, T., & Whitman, R. V. (2012). Mecanica de Suelos. LIMUSA.

Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2014). *"Metodología de la investigación" - 6ta  
edición*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.  
DE C.V.

Sebrier, M., Huaman, D., Blanc, L., Machare, J., Bonnot, D., & Cabrera, J. (1982).

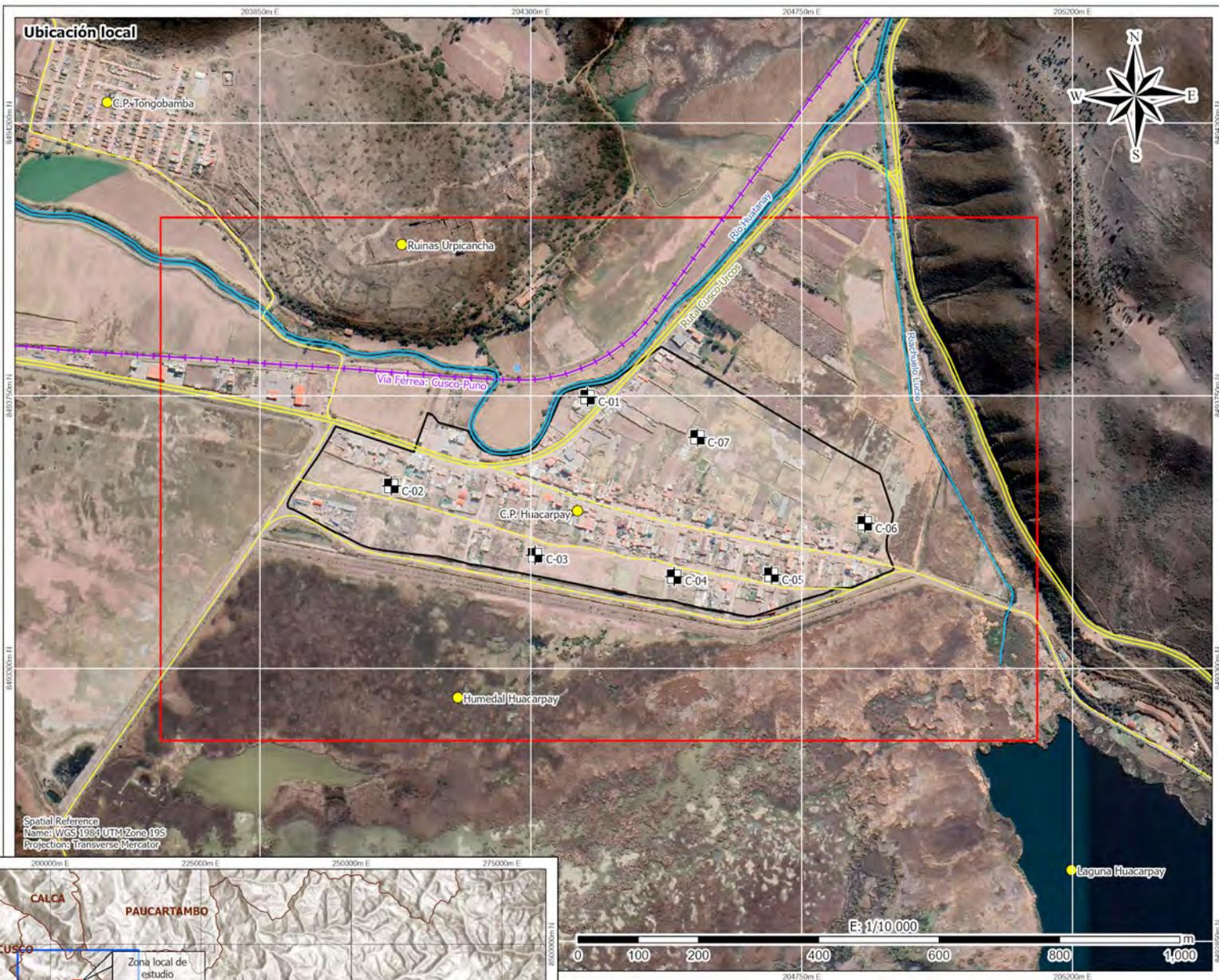
*Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú*. Instituto Geofísico del Peru  
(IGP-LGDI).

Venero Gonzales, J. L. (2018). Lucre - Huacarpay: Humedal Mesoandino.

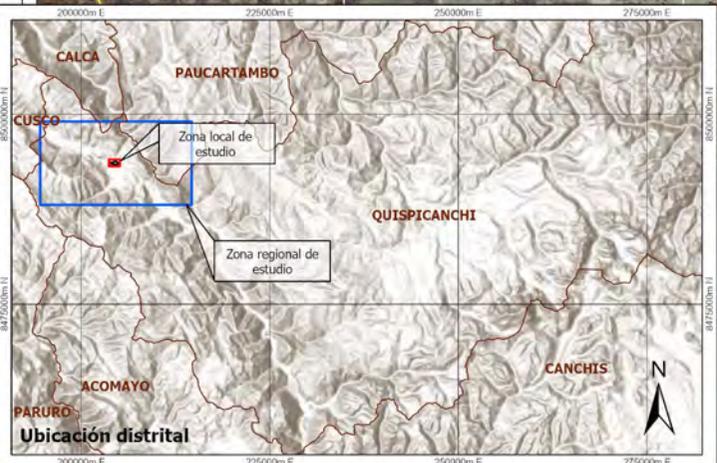
Will, & Blackwell, W. (2009). *Sedimentology And Stratigraphy*. Universidad de  
Londres, Reino Unido.

# **ANEXOS**

## **Planos**

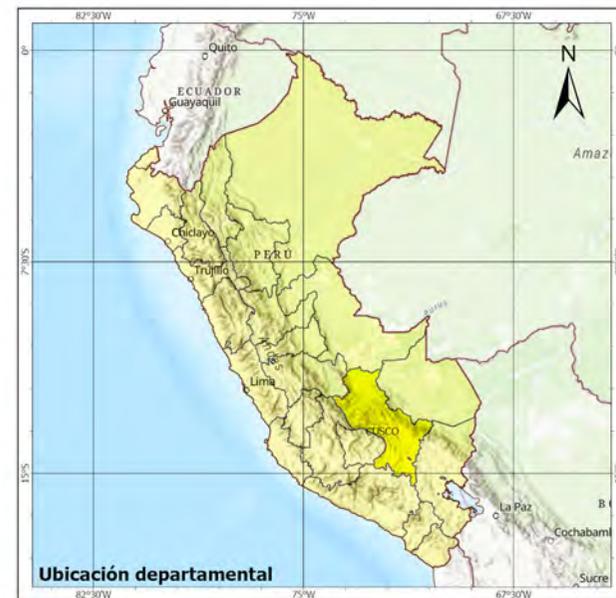
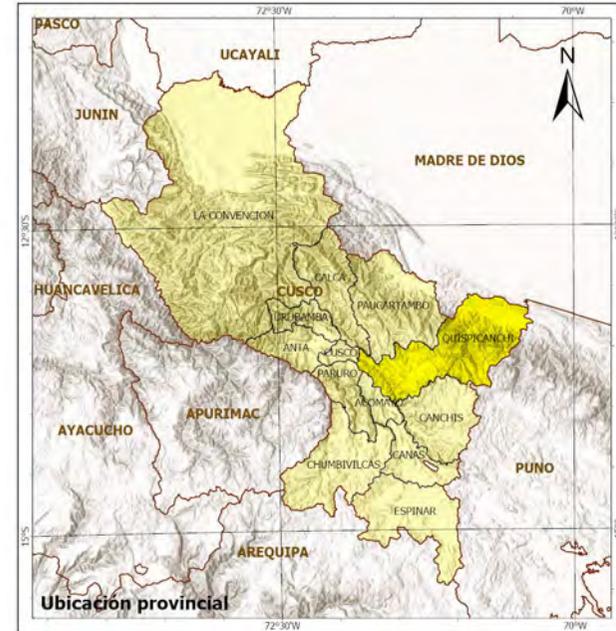


Spatial Reference  
Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
Projection: Transverse Mercator



- Leyenda y Simbología**
- Lugares
  - Calicatas de exploración
  - ~ Riachuelo Lucre
  - ~ Río Huatanay
  - ~ Pistas principales
  - ~ Pista Panamericana
  - ~ Vía férrea
  - Área huacarpay
  - Zona de estudio local
  - Zona de estudio regional

Zonas de estudio	Área (ha)	Perímetro (m)	
Local	25.85	2485.04	
Regional	22014.86	62090.07	
Coordenadas de puntos de exploración			
Calicata	E (m)	N (m)	Z (m.s.n.m)
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

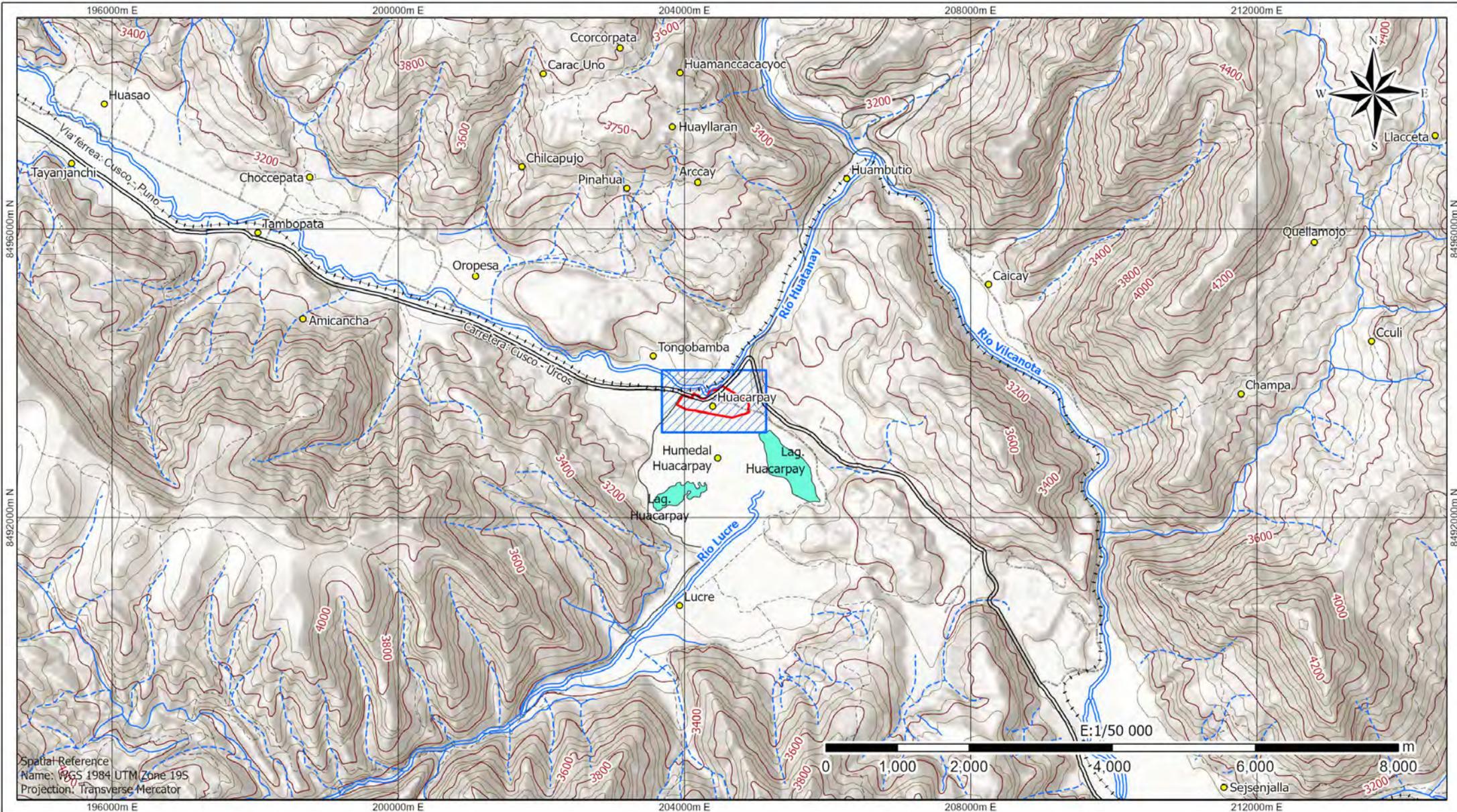
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024

**UBICACIÓN**

Dep.	CUSCO	<b>P-1</b>
Provincia	QUISPICANCHI	
Distrito	LUCRE	
Lugar	CENTRO POBLADO HUACARPAY	

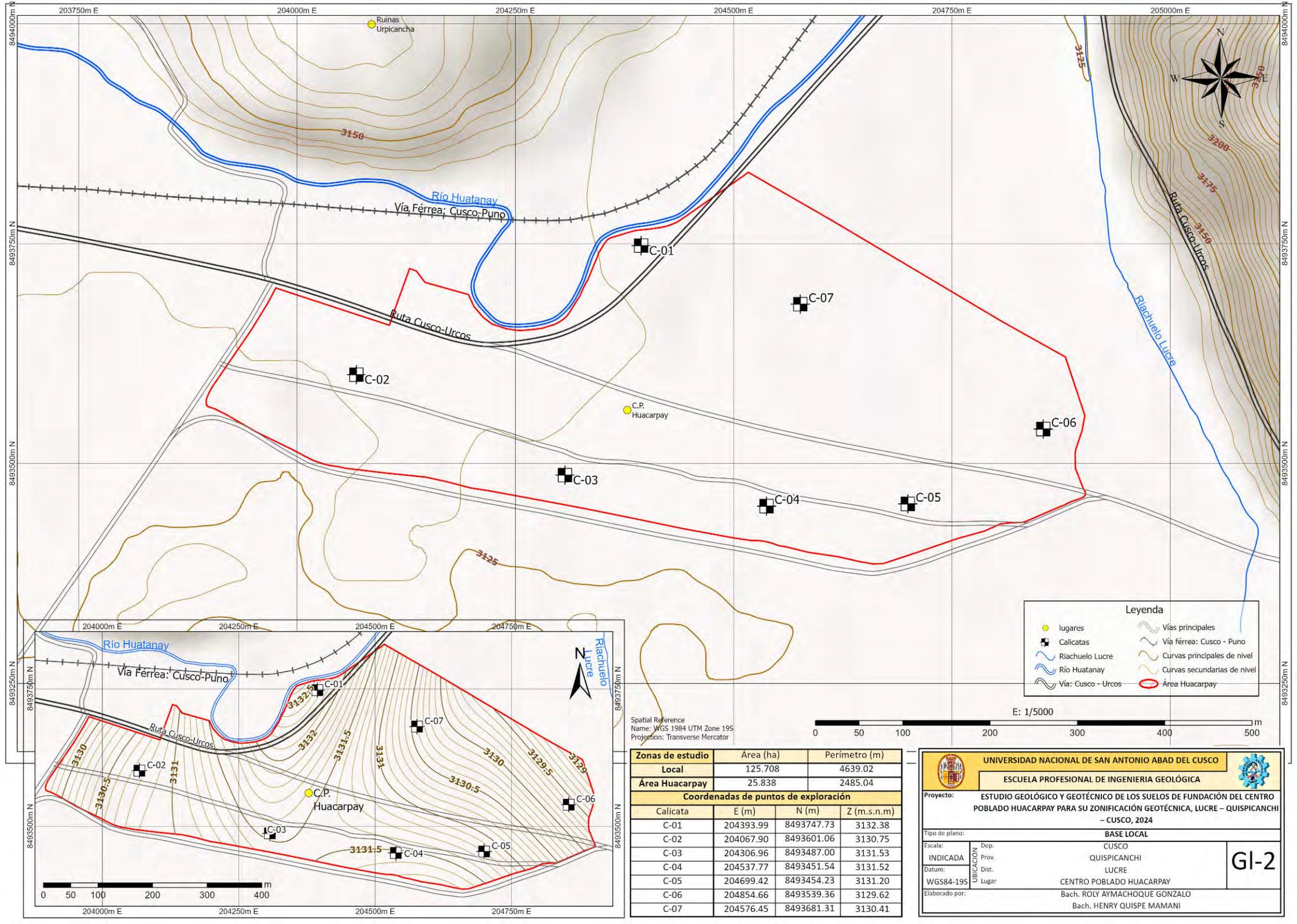
Elaborado por: Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO  
Bach. HENRY QUISPE MAMANI



### Legenda y Simbología

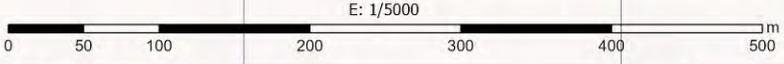
Centros poblados	Ríos secundarios
Carretera: Cusco - Urcos	Quebradas
Via férrea: Cusco - Puno	Curvas principales de nivel
Carretera afirmada, transitable	Curvas secundarias de nivel
Camino carrozable	Área Huacarpay
Camino de herradura	Zona local de estudio
Ríos principales	Lagunas

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>		
<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA</b>				
Proyecto:		ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024		
Tipo de plano:		BASE REGIONAL		
Escala:	INDICADA	Dep.:	CUSCO	
		Prov.:	QUISPICANCHI	
Datum:	WGS84-19S	Dist.:	LUCRE	
		Lugar:	CENTRO POBLADO HUACARPAY	
Elaborado por:		Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO Bach. HENRY QUISPE MAMANI		
				<b>GI-1</b>



**Legenda**

- lugares
- Calicatas
- ~ Riachuelo Lucre
- ~ Río Huatanay
- Vías principales
- Via férrea: Cusco - Puno
- Curvas principales de nivel
- Curvas secundarias de nivel
- Vía: Cusco - Urcos
- Área Huacarpay



Spatial Reference  
 Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
 Projection: Transverse Mercator

Zonas de estudio	Área (ha)	Perímetro (m)
<b>Local</b>	125.708	4639.02
<b>Área Huacarpay</b>	25.838	2485.04

Coordenadas de puntos de exploración			
Calicata	E (m)	N (m)	Z (m.s.n.m)
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO**

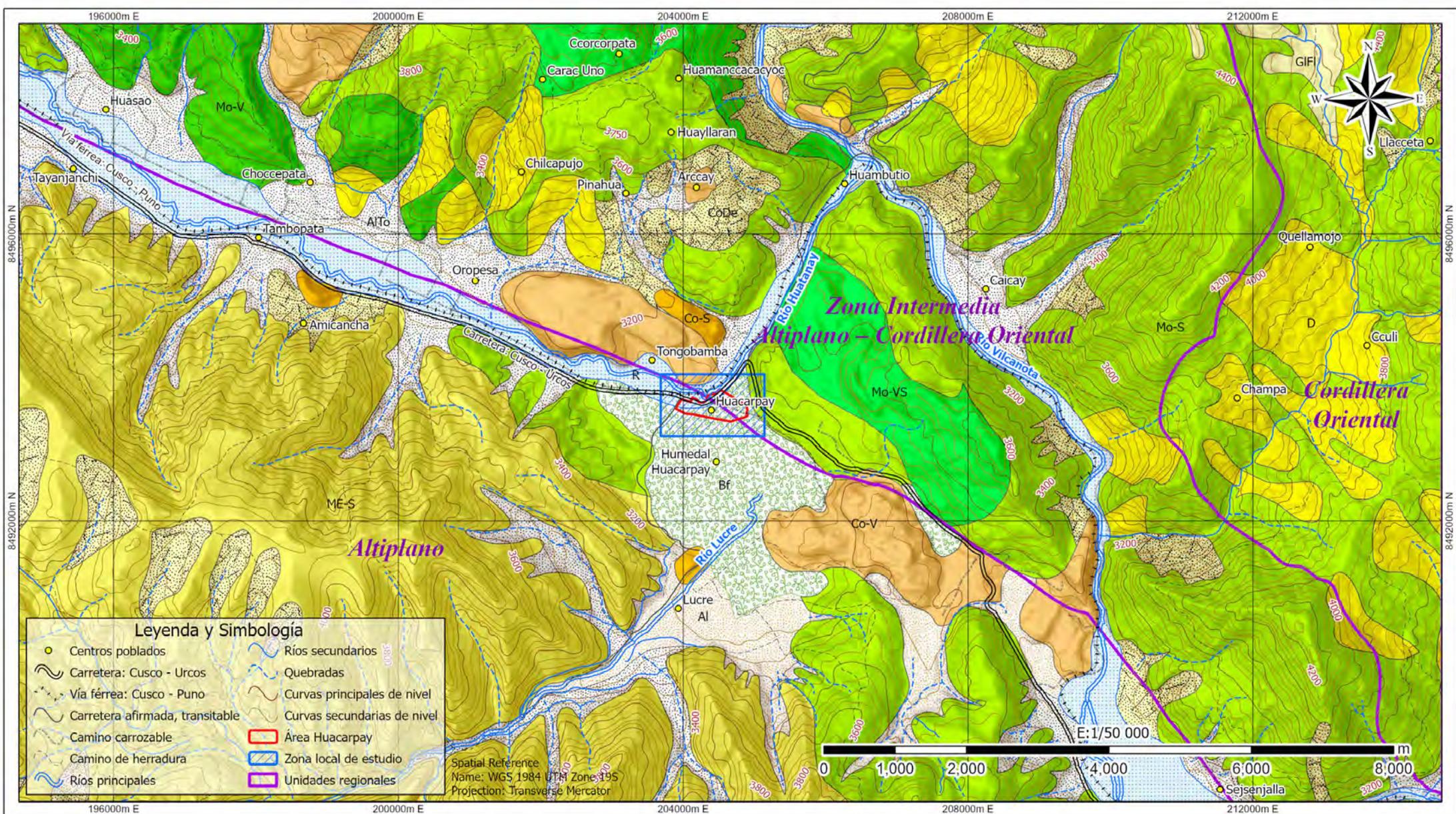
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

Proyecto: **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI –CUSCO, 2024**

**BASE LOCAL**

Escala:	Dep. CUSCO	
INDICADA	Prov. QUISPICANCHI	
Datum:	Dist. LUCRE	
WGS84-19S	Lugar: CENTRO POBLADO HUACARPAY	
Elaborado por:	Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO	
	Bach. HENRY QUISPE MAMANI	

**GI-2**



### Leyenda y Simbología

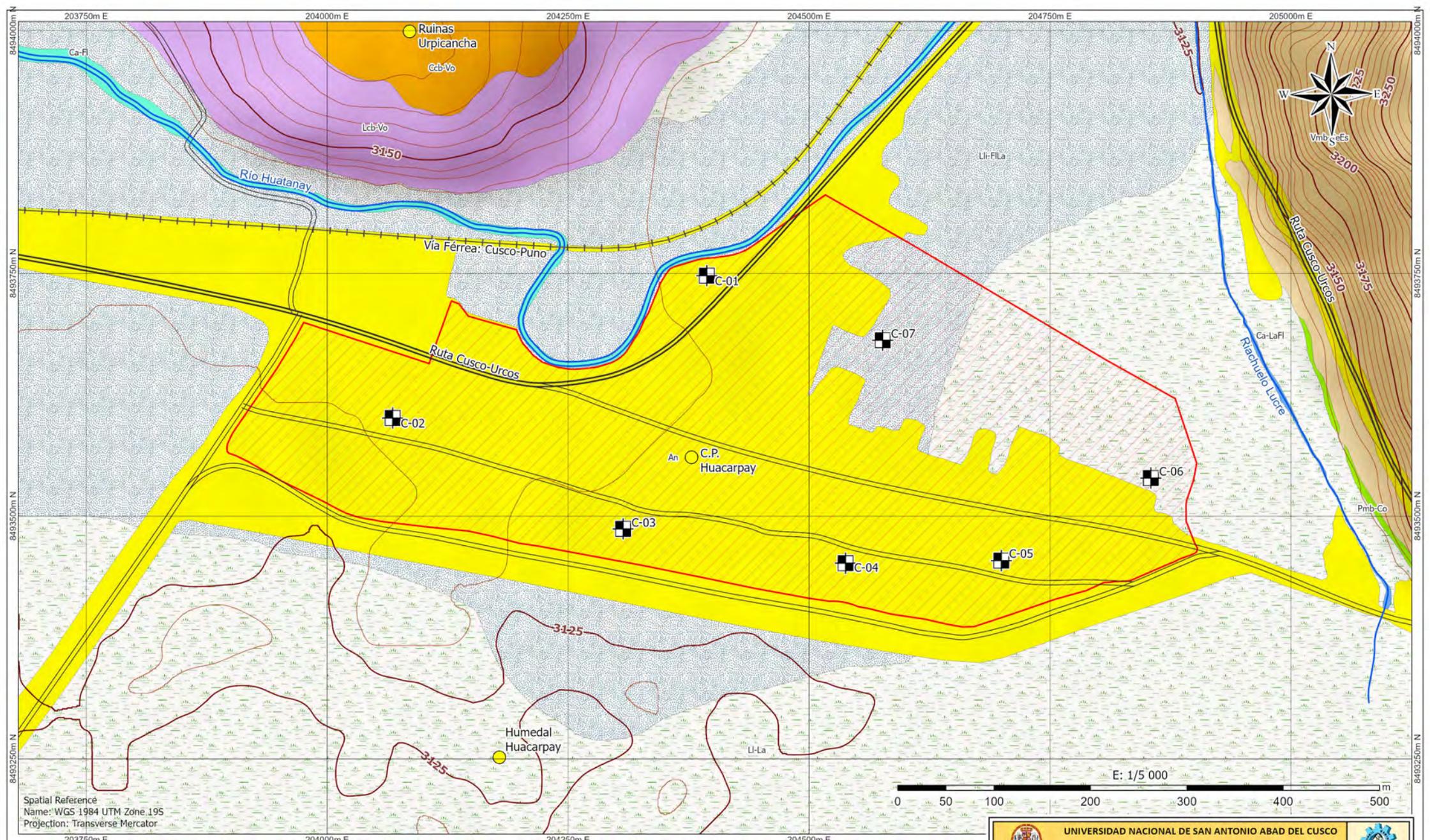
Centros poblados	Ríos secundarios
Carretera: Cusco - Urcos	Quebradas
Vía férrea: Cusco - Puno	Curvas principales de nivel
Carretera afirmada, transitable	Curvas secundarias de nivel
Camino carrozable	Área Huacarpay
Camino de herradura	Zona local de estudio
Ríos principales	Unidades regionales

Spatial Reference Name: WGS 1984 UTM Zone: 19S  
Projection: Transverse Mercator

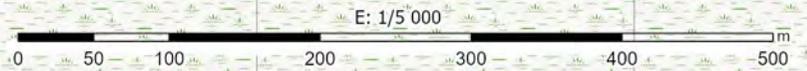
### Leyenda y Simbología

R / Cauce del río	Co-V / Colina en roca volcánica
Bf / Bofedales	Co-S / Colina en roca sedimentaria
D / Vertiente con depósito de deslizamiento	Mo-S / Montaña en roca sedimentaria
GIF / Vertiente glacio-fluvial	Mo-V / Montaña en roca volcánica
Al / Vertiente o piedemonte aluvial	Mo-VS / Montaña en roca volcano-sedimentaria
AlTo / Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial	ME-S / Montaña estructural en roca sedimentaria
CoDe / Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>	
		<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA</b>	
Proyecto:		ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024	
Tipo de plano:		GEOMORFOLÓGICO REGIONAL	
Escala:	INDICADA	Dep:	CUSCO
Datum:	WGS84-19S	Prov:	QUISPICANCHI
Elaborado por:	Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO Bach. HENRY QUISPE MAMANI	Dist:	LUCRE
		Lugar:	CENTRO POBLADO HUACARPAY
<b>GI-3</b>			



Spatial Reference  
 Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
 Projection: Transverse Mercator



UNIDADES FISIGORÁFICAS			EXTENSIÓN	
Símbolo	Descripción	Código	Área (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
	Llanura lacustrina	Ll-La	429421.95	35.38%
	Llanura de inundación fluvio lacustrina	Lli-FILa	289994.83	23.89%
	Canal de cauce fluvial	Ca-Fi	11195.79	0.92%
	Canal lacustrino fluvial	Ca-LaFl	1887.36	0.16%
	Ladera de colina baja volcánica	Lcb-Vo	59672.38	4.92%
	Cima de colina baja volcánica	Ccb-Vo	17637.95	1.45%
	Pie de monte coluvial	Pmb-Co	1476.44	0.12%
	Vertiente de montaña baja estructural	Vmb-SeEs	62164.24	5.12%
	Material antrópico	An	340327.58	28.04%

Simbología	
	lugares
	Calicatas
	Riachuelo Lucre
	Río Huatanay
	Vía: Cusco - Urcos
	Vías principales
	Vía férrea: Cusco - Puno
	Curvas principales de nivel
	Curvas secundarias de nivel
	Área Huacarpay

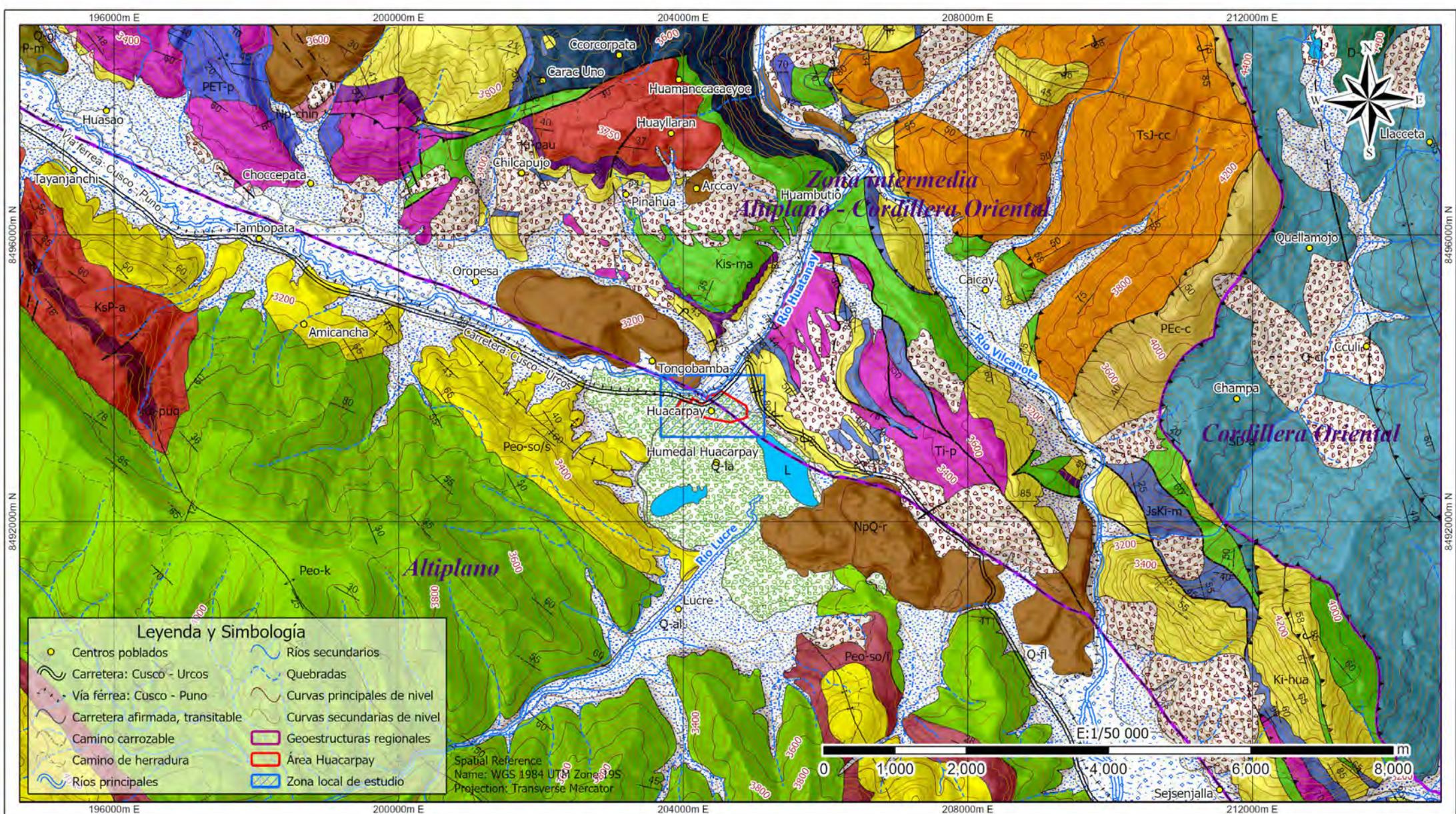
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

Proyecto: **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024**

Tipo de plano: **GEOMORFOLÓGICO LOCAL**

INDICADA	Dep.	CUSCO	<b>GI-4</b>
	Prov.	QUISPICANCHI	
	Dist.	LUCRE	
	Lugar	CENTRO POBLADO HUACARPAY	
Elaborado por:		Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO Bach. HENRY QUISPE MAMANI	



### Legenda y Simbología

- Centros poblados
- Carretera: Cusco - Urcos
- Vía férrea: Cusco - Puno
- Carretera afirmada, transitable
- Camino carrozable
- Camino de herradura
- Ríos principales
- Ríos secundarios
- Quebradas
- Curvas principales de nivel
- Curvas secundarias de nivel
- Geoestructuras regionales
- Área Huacarpay
- Zona local de estudio

Spatial Reference  
 Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
 Projection: Transverse Mercator

### Legenda y simbología

- Dirección de estratos
- Dirección de foliación
- Dirección estratos invertidos
- Piiegue anticlinal
- Piiegue sinclinal
- Piiegue sinclinal tumbado
- Falla normal
- Falla inferida
- Falla inversa
- L - Lagunas
- Q-la - Depósito Lacustrino
- Q-fl - Depósito Fluvial
- Q-cl - Depósito Coluvial
- Q-al - Depósito Aluvial
- Q-gl - Depósito glaciár
- NpQ-r - Formación Rucicolca
- Np-chin - Formación Chincheros
- Peo-so/s - Fm. Soncco, Miembro superior
- Peo-so/i - Fm. Soncco, Miembro inferior
- Peo-k - Formación Kayra
- P-m - Formación Muñani
- KsP-a - Formación Auzangate
- Ks-puq - Formación Puquín
- Kis-ma - Formación Maras
- Ki-pau - Formación Paucarbamba
- Ki-hua - Formación Huancané
- TsJ-cc - Formación Cay Cay
- Ti-p - Formación Pachatusán
- PET-p - Formación Pisac
- PEc-c - Grupo Copacabana
- D-c - Grupo Cabanillas
- SD-a - Formación Ananea

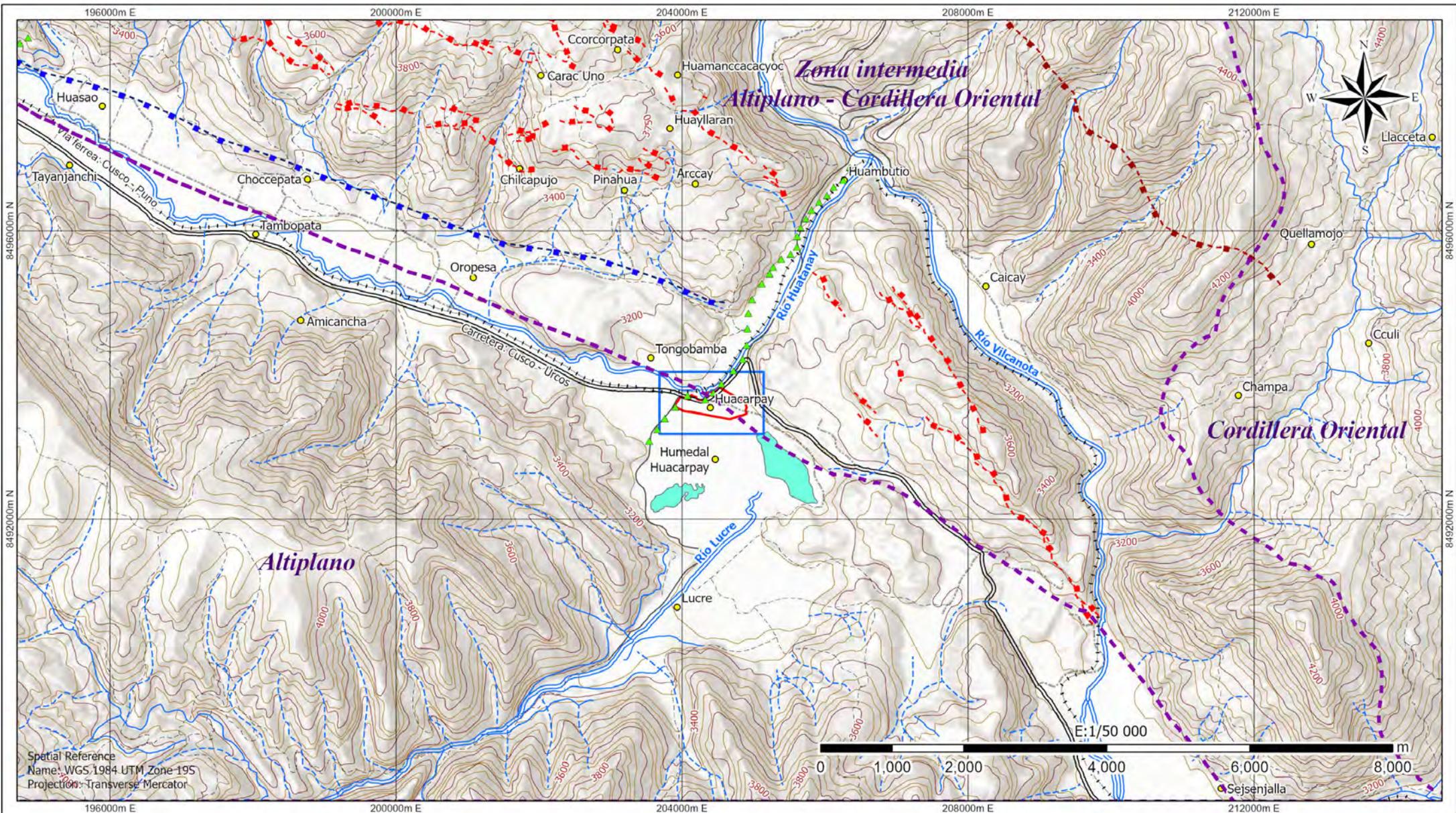
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA

Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACION GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024

Tipo de plano: GEOLÓGICO REGIONAL

INDICADA	Dep. CUSCO	GI-5
Datum:	Prov. QUISPICANCHI	
WGS84-19S	Dist. LUCRE	
Elaborado por:	Lugar: CENTRO POBLADO HUACARPAY	
	Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO	
	Bach. HENRY QUISEP MAMANI	

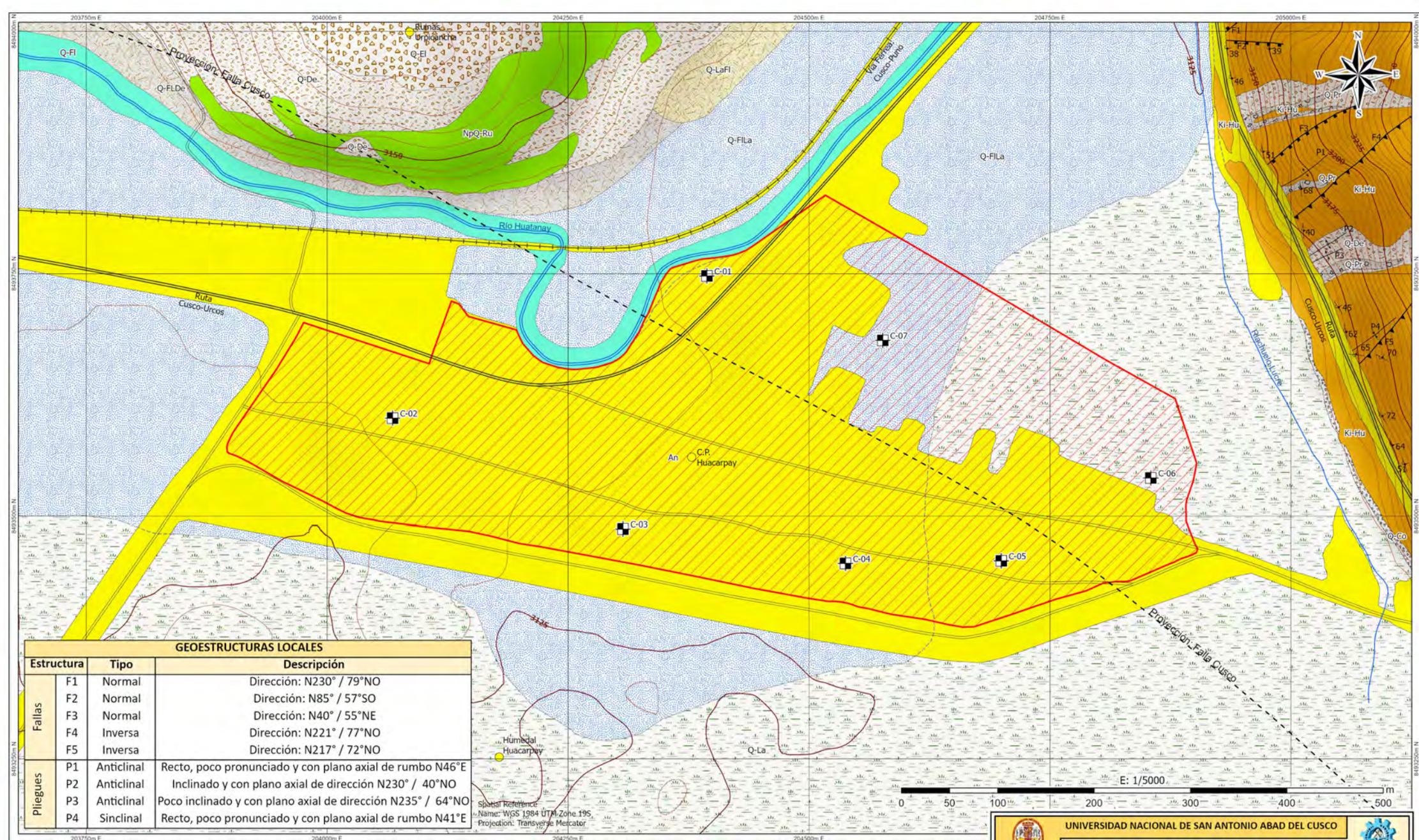


Spatial Reference  
 Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
 Projection: Transverse Mercator

### Leyenda y Simbología

Centros poblados	Ríos secundarios	Área Huacarpay
Puntos de gas radón	Quebradas	Zona local de estudio
Carretera: Cusco - Urcos	Curvas principales de nivel	
Vía férrea: Cusco - Puno	Curvas secundarias de nivel	
Carretera afirmada, transitable	Falla Ccatcca	
Camino carrozable	Sistema de fallas Pachatusán	
Camino de herradura	Falla Tambomachay	
Ríos principales	Dominios geoestructurales regionales	

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b>		
		<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA</b>		
Proyecto:		ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024		
Tipo de plano:		NEOTECTÓNICO REGIONAL		
Escala:	INDICADA	Dep.:	CUSCO	
		Prov.:	QUISPICANCHI	
Datum:	WGS84-19S	Dist.:	LUCRE	
		Lugar:	CENTRO POBLADO HUACARPAY	
Elaborado por:		Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO Bach. HENRY QUISPE MAMANI		
		<b>GI-6</b>		



**GEOESTRUCTURAS LOCALES**

Estructura		Tipo	Descripción
Fallas	F1	Normal	Dirección: N230° / 79°NO
	F2	Normal	Dirección: N85° / 57°SO
	F3	Normal	Dirección: N40° / 55°NE
	F4	Inversa	Dirección: N221° / 77°NO
	F5	Inversa	Dirección: N217° / 72°NO
Plegues	P1	Anticlinal	Recto, poco pronunciado y con plano axial de rumbo N46°E
	P2	Anticlinal	Inclinado y con plano axial de dirección N230° / 40°NO
	P3	Anticlinal	Poco inclinado y con plano axial de dirección N235° / 64°NO
	P4	Sinclinal	Recto, poco pronunciado y con plano axial de rumbo N41°E

**Simbología**

Lugares	Río Huatanay	Falla Inversa
Calicatas	Vías férreas: Cusco - Puno	Falla Normal
Dirección de estratos	Vías principales	Límites proyectados
Curvas principales de nivel	Vía terrestre: Cusco - Urcos	Falla Proyectada
Curvas secundarias de nivel	Plegue Anticlinal	Área Huacarpay
Riachuelo Lucre	Plegue Sinclinal	

**Legenda**

Q-An / Material Antrópico	Q-FILA / Cuaternario Fluvial Lacustrino
Q-Co / Cuaternario Coluvial	Q-La / Cuaternario Lacustrino
Q-De / Cuaternario Deluvial	Q-LaFl / Cuaternario Lacustrino Fluvial
Q-EI / Cuaternario Eluvial	Q-Pr / Cuaternario Proluvial
Q-FLDe / Cuaternario Fluvial Deluvial	Ki-Hu / Formación Huancané
Q-FI / Cuaternario Fluvial	NpQ-Ru / Volcánico Rumicolca

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

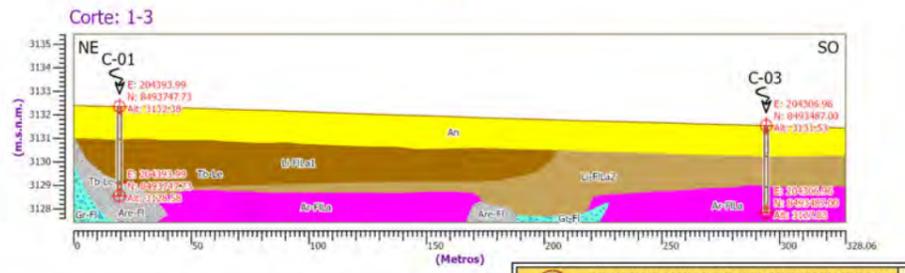
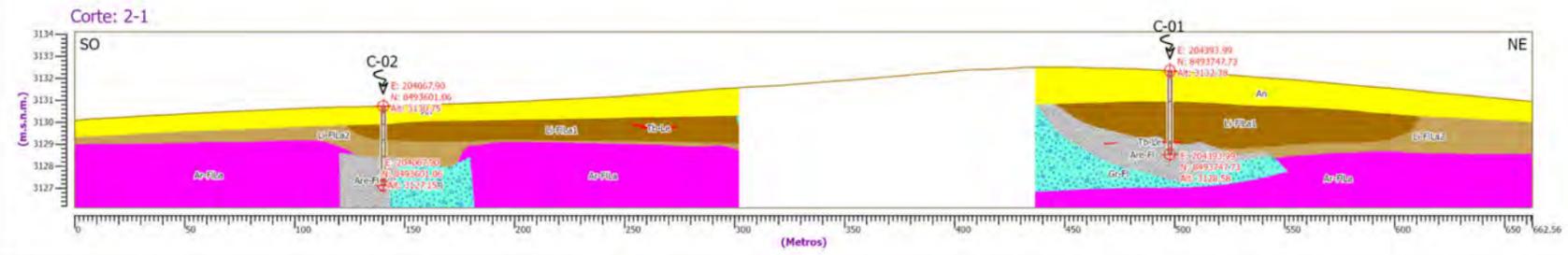
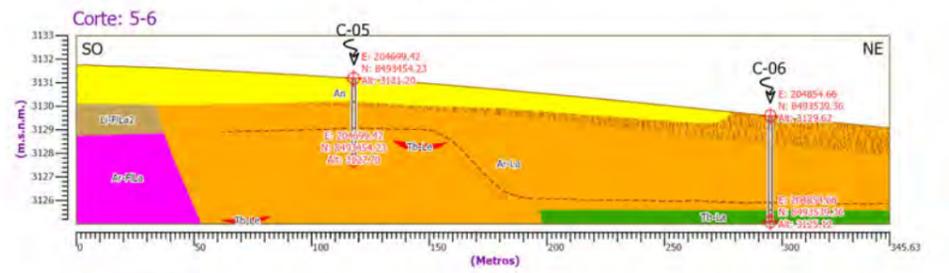
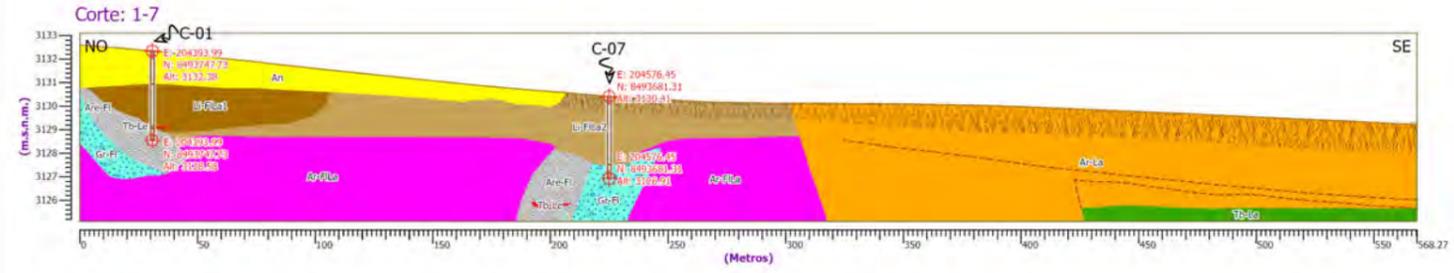
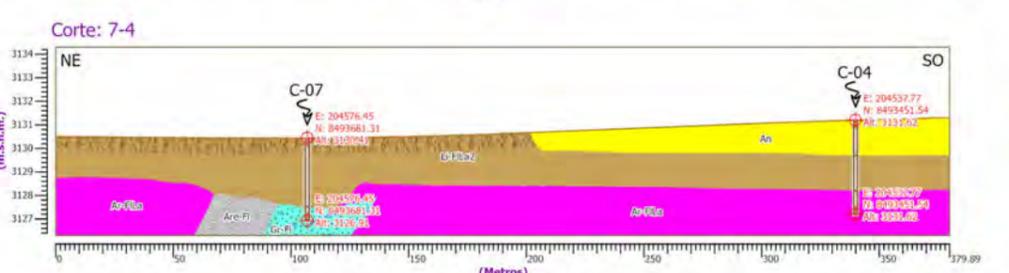
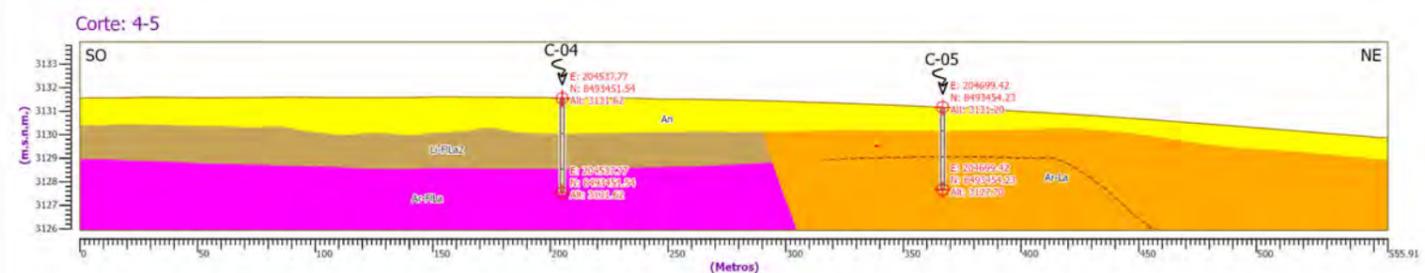
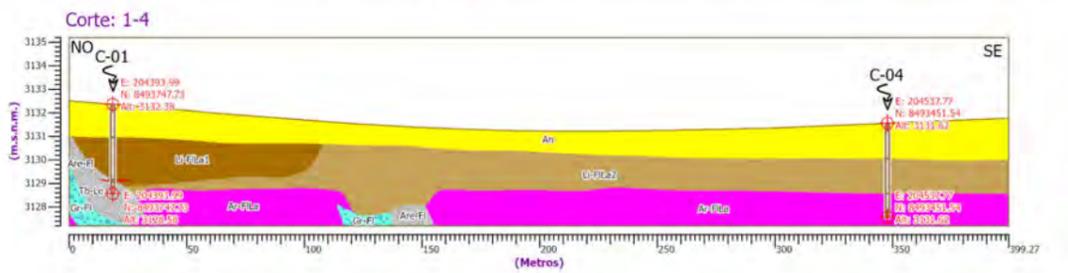
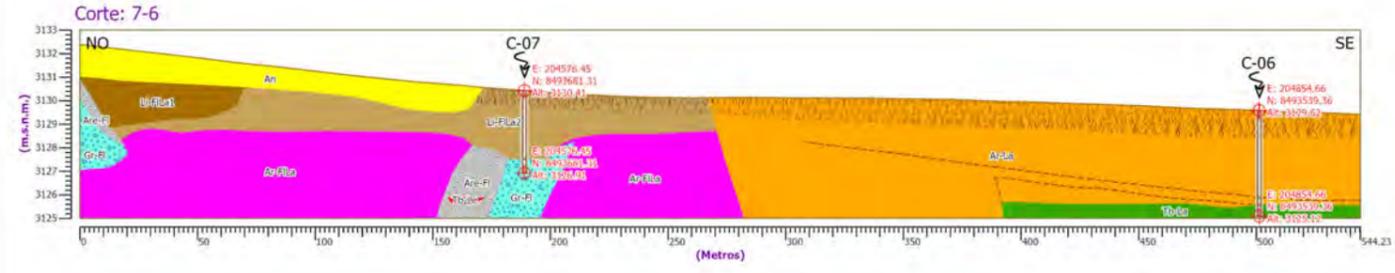
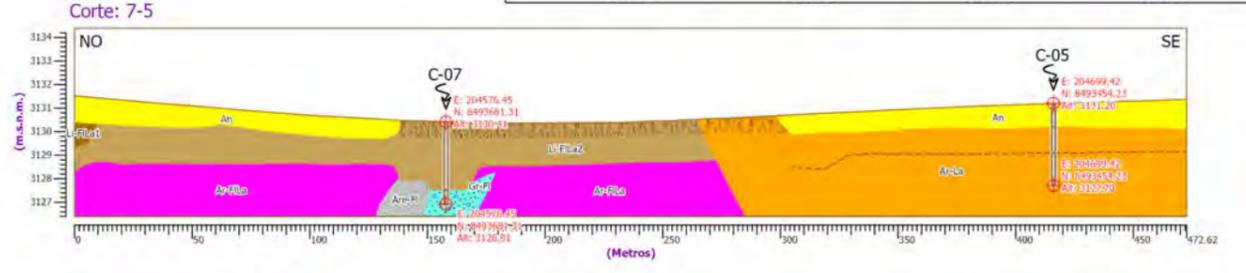
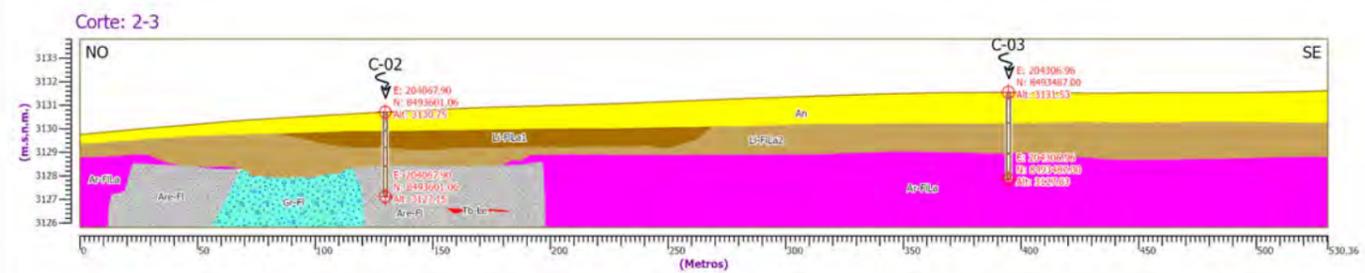
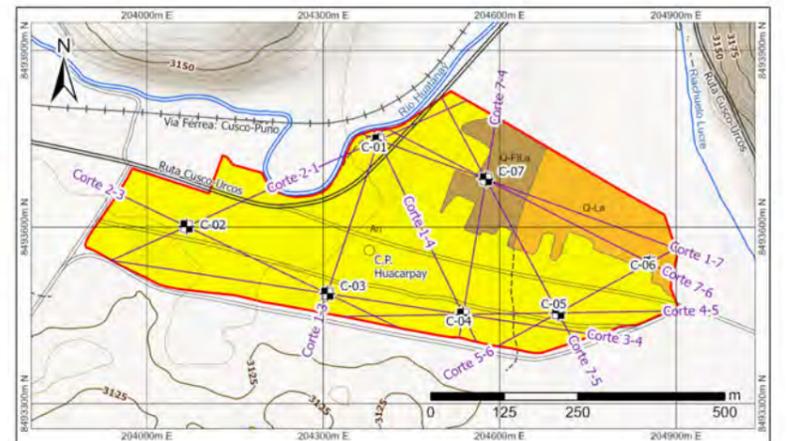
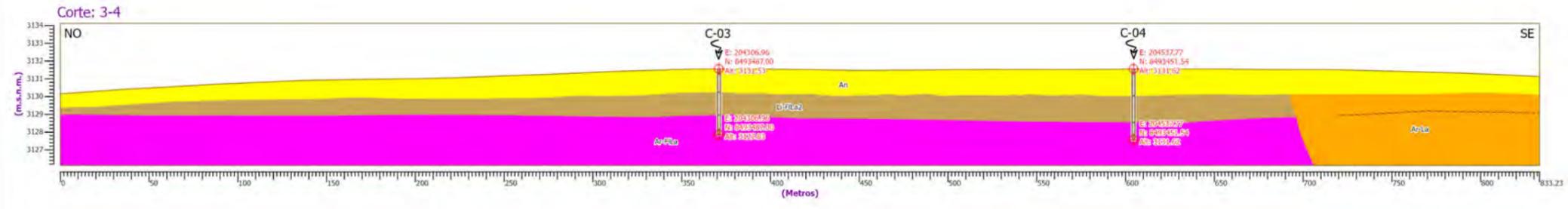
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

Proyecto: **ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACION GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024**

Tipo de plano: **GEOLÓGICO LOCAL**

Escala:	INDICADA	Dep.:	CUSCO
Datum:	WGS84-19S	Prov.:	QUISPICANCHI
Elaborado por:		Dist.:	LUCRE
		Lugar:	CENTRO POBLADO HUACARPAY
			Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO
			Bach. HENRY QUISPE MAMANI

**GI-7**



**Simbología**

- Lugares
- Calicatas
- ~ Riachuelo Lucre
- ~ Río Huatanay
- ~ Vía: Cusco - Urcos
- ~ Vías principales
- ~ Vía férrea: Cusco - Puno
- ~ Curvas principales de nivel
- ~ Curvas secundarias de nivel
- Área Huacarpay
- ⊕ Coordenadas de calicatas
- ~ Cortes en vista de planta
- ~ Proyecciones litológicas
- ~ Superficie topográfica
- ~ Raíces vegetales

**Leyenda**

- Material antrópico / An
- Limo fluviolacustrino 1 / Li-FILA1
- Limo fluviolacustrino 2 / Li-FILA2
- Arcilla fluviolacustrina / Ar-FILA
- Arena fluvial / Are-FI
- Grava fluvial / Gr-FI
- Arcilla lacustrina / Ar-La
- Turba lacustrina / Tb-La
- Lentas de turba / Tb-Le

Escala Vertical: 1/150

Escala Horizontal: 1/1,500

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024

Tipo de plan: PERFILES LITOESTRATIGRAFICOS

INDICADA: CUSCO

INDICADA: QUISPICANCHI

INDICADA: LUCRE

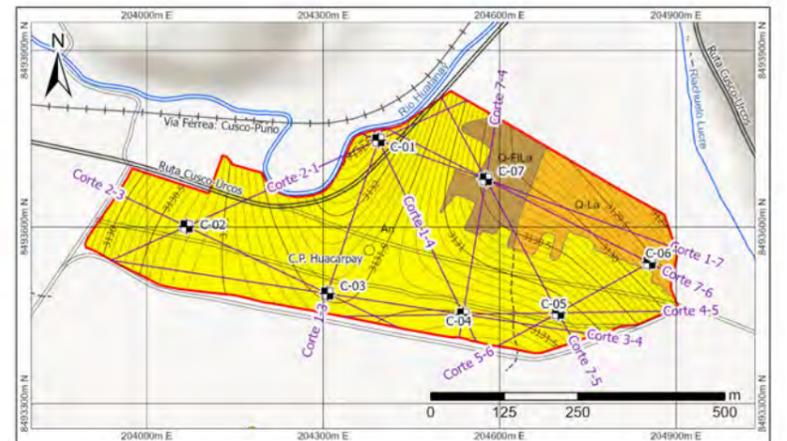
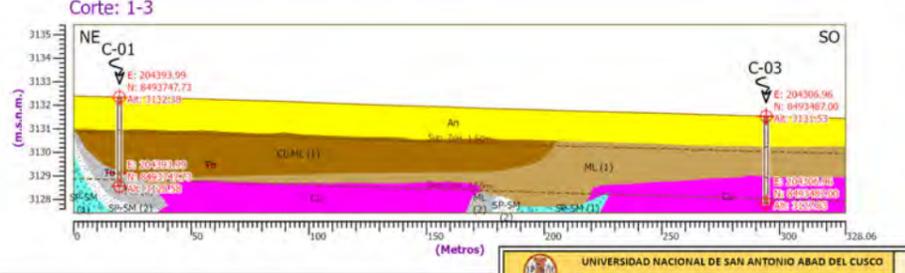
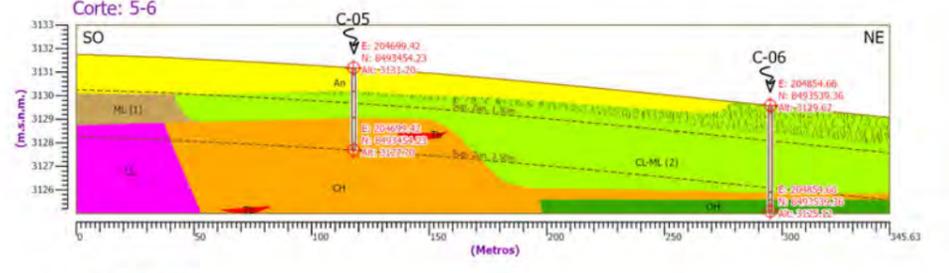
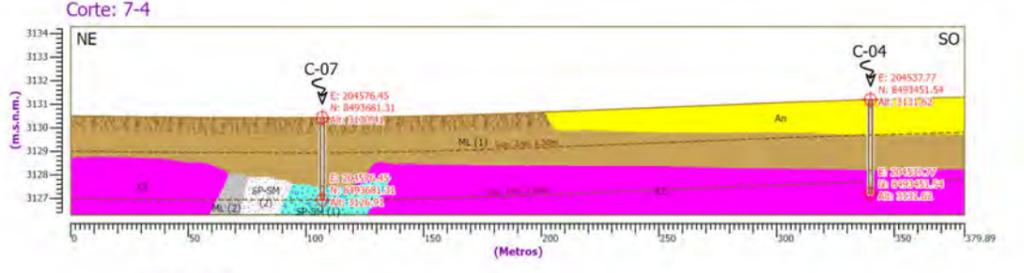
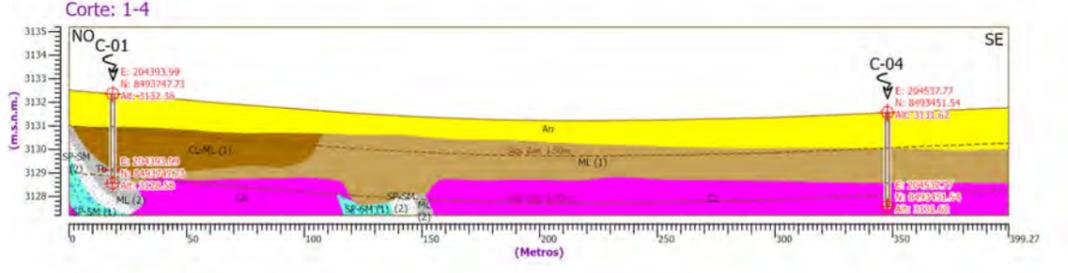
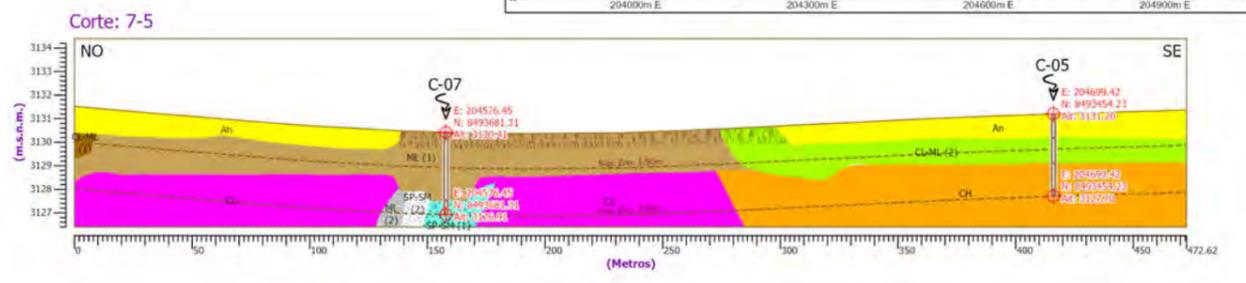
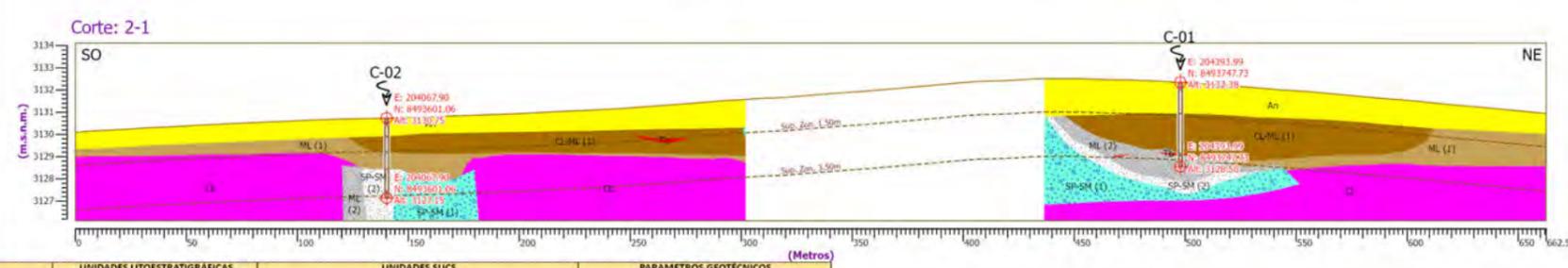
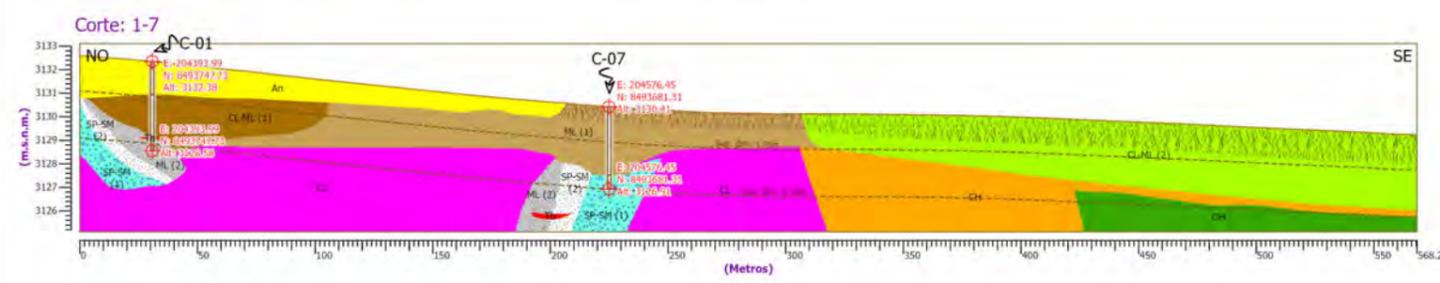
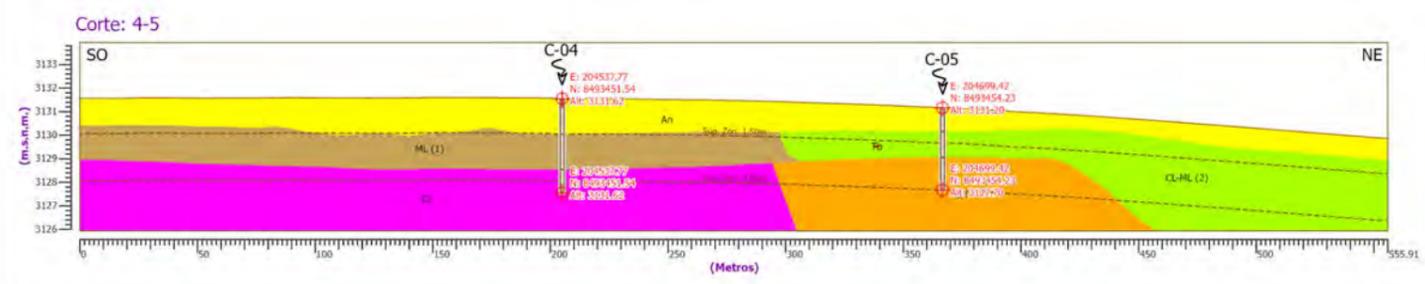
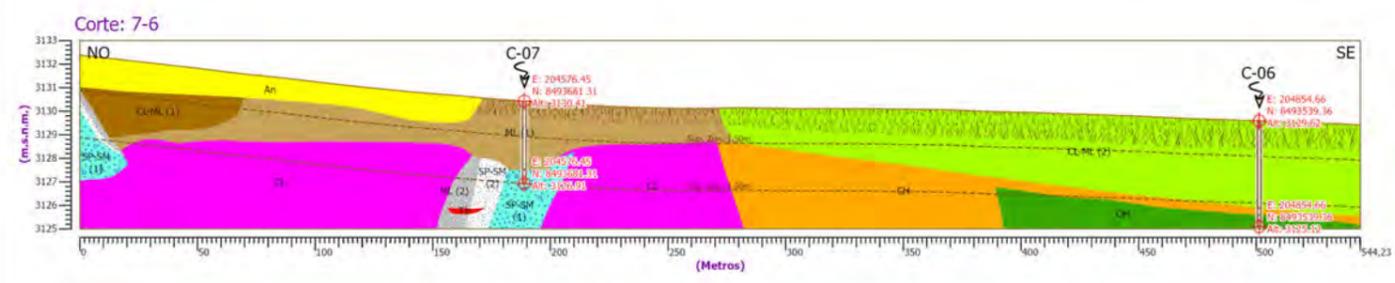
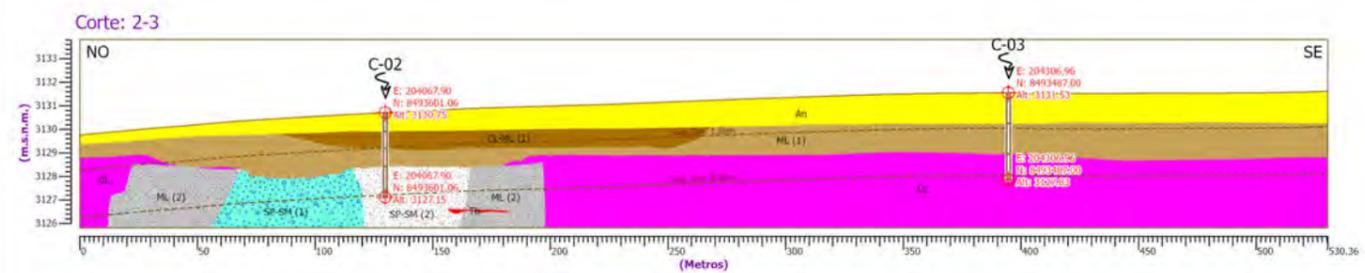
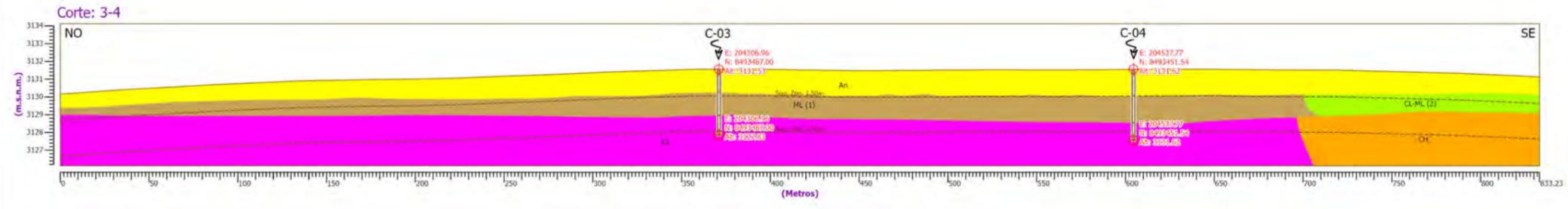
WGS84 19S

CENTRO POBLADO HUACARPAY

Bach. ROLY AYMAOCHOQUE GONZALO

Bach. HENRY QUISPE MAMANI

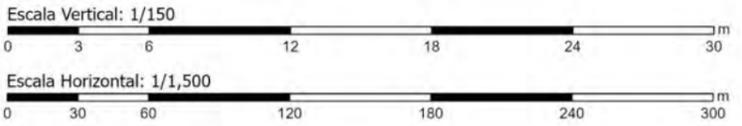
GI-8



DEPÓSITO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS		UNIDADES SUCS		PARAMETROS GEOTÉCNICOS				
	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CP (kg/cm <sup>2</sup> )	Asent. (cm) / 3 niveles		
Cuaternario Fluvioacuático (Q-FiLa)	Li-FiLa1	Limo Fluvioacuático 1	CL-ML (1)		Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.41 - 0.48	6.35 - 13.34		
	Li-FiLa2	Limo Fluvioacuático 2	ML (1)		Limo de baja plasticidad	0.40 - 0.57	0.63 - 0.79	3.92 - 11.06	3.71 - 8.95
	Ar-FiLa	Arcilla Fluvioacuática	CL		Arcilla ligera de baja plasticidad	0.36 - 0.42	0.64 - 0.86	5.83 - 14.82	4.04 - 10.60
Cuaternario Lacustrino (Q-La)	Ar-La	Arcilla Lacustrina	CH		Arcilla densa de alta plasticidad	0.39 - 0.47	0.51 - 0.85	6.99 - 14.44	5.11 - 12.16
	Tb-La	Turba Lacustrina	OH		Arcilla orgánica	0.45 - 0.69	0.81 - 1.06	4.54 - 16.43	2.69 - 9.83
	Tb-Le	Lentes de Turba	Tb		Lente de turba limosa	0.46 - 0.758	-	7.34 - 15.47	-
-	An	Material Antropico	An		Material antropico o de relleno	-	-	-	-

**Simbología**

- Lugares
- Calicatas
- Riachuelo Lucre
- Río Huatanay
- Vía: Cusco - Urcos
- Vías principales
- Vía férrea: Cusco - Puno
- Curvas principales de nivel
- Curvas secundarias de nivel
- Área Huacarpay
- Coordenadas de calicatas
- Cortes en vista de planta
- Superficies de zonificación
- Superficie topográfica
- Raíces vegetales



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACION DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024

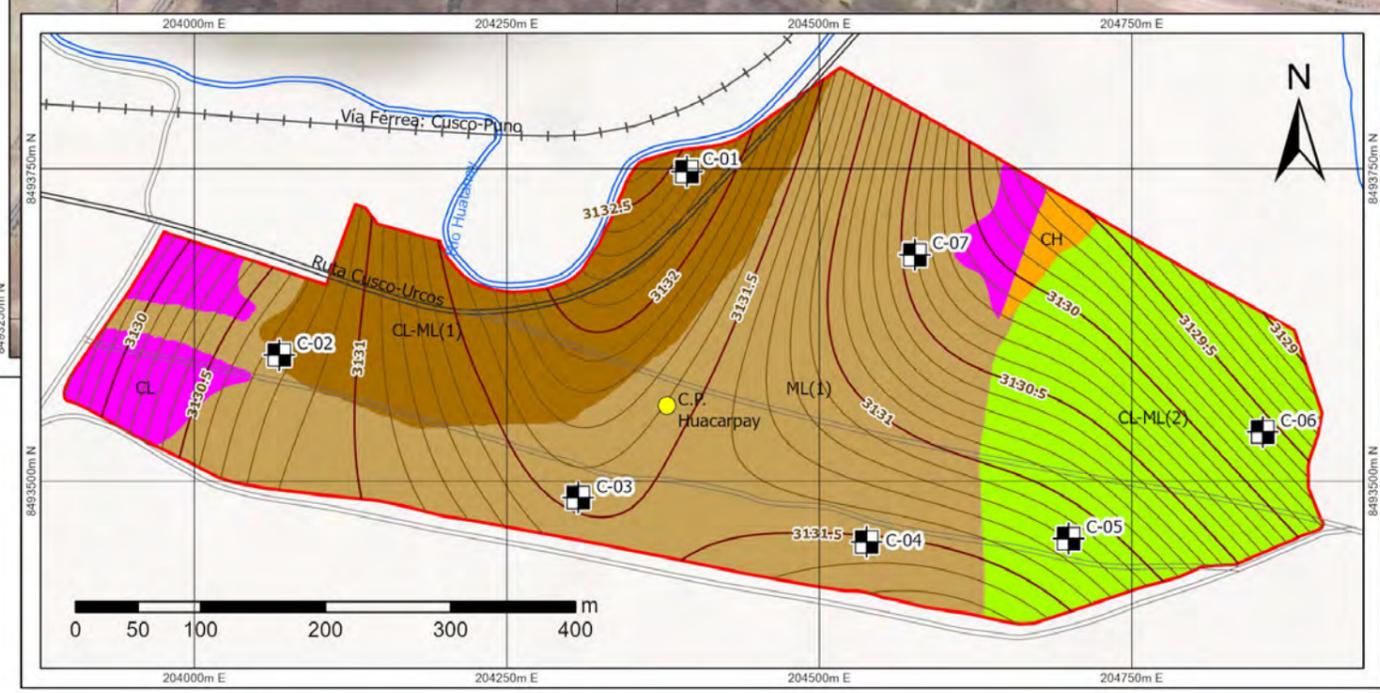
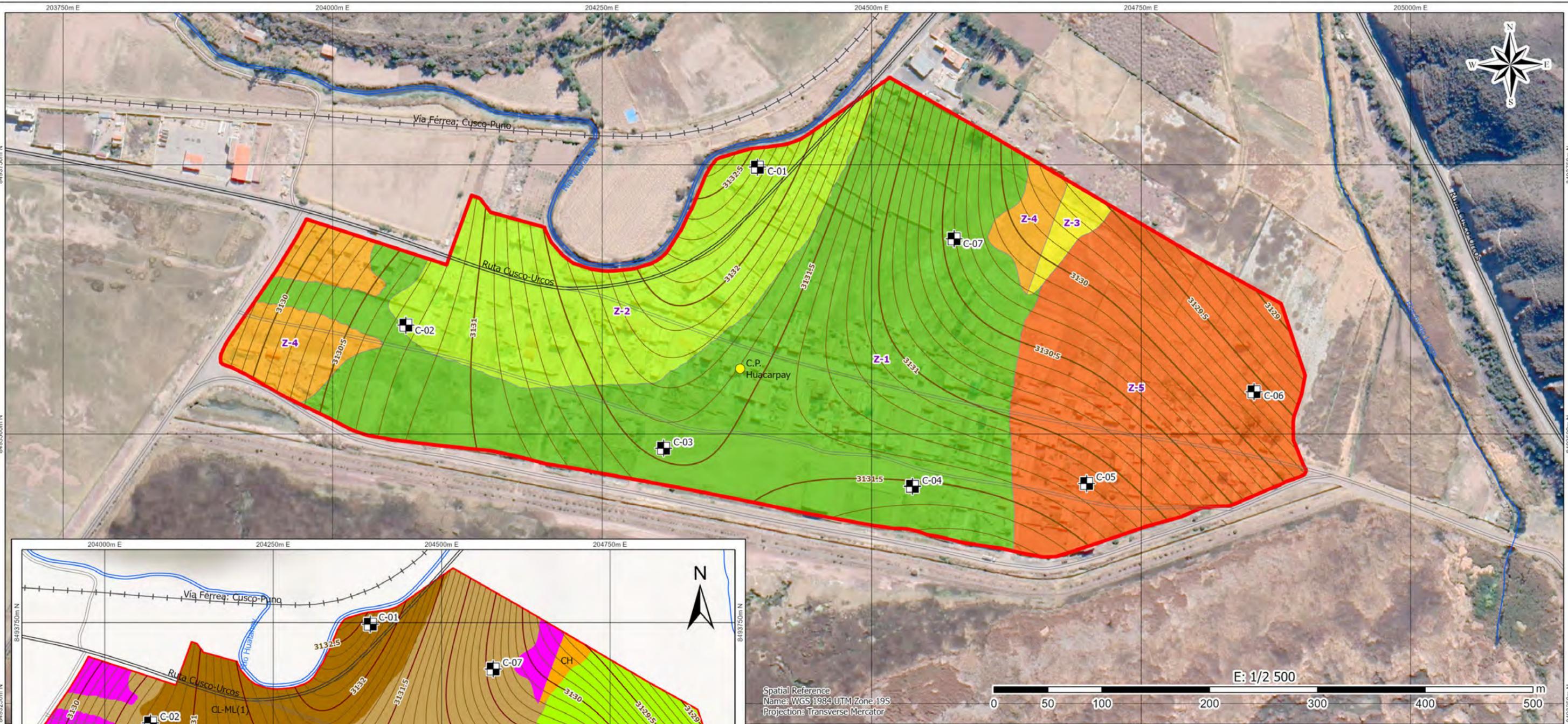
Elaborado por: BACH. ROY AMACHOQUE GONZALO  
BACH. HENRY GUISEP MAMANI

PERFILES GEOTÉCNICOS

CUSCO  
QUISPICANCHI  
LUCRE

CENTRO POBLADO HUACARPAY

**Gt-1**



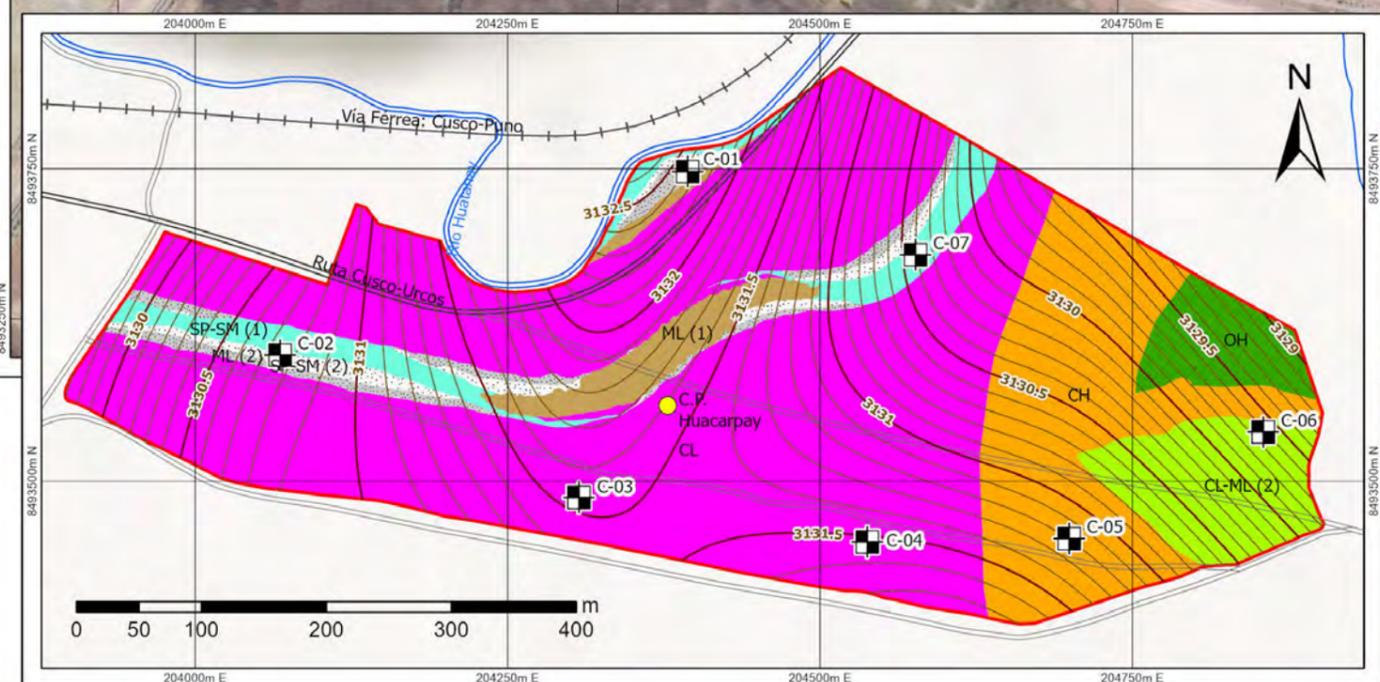
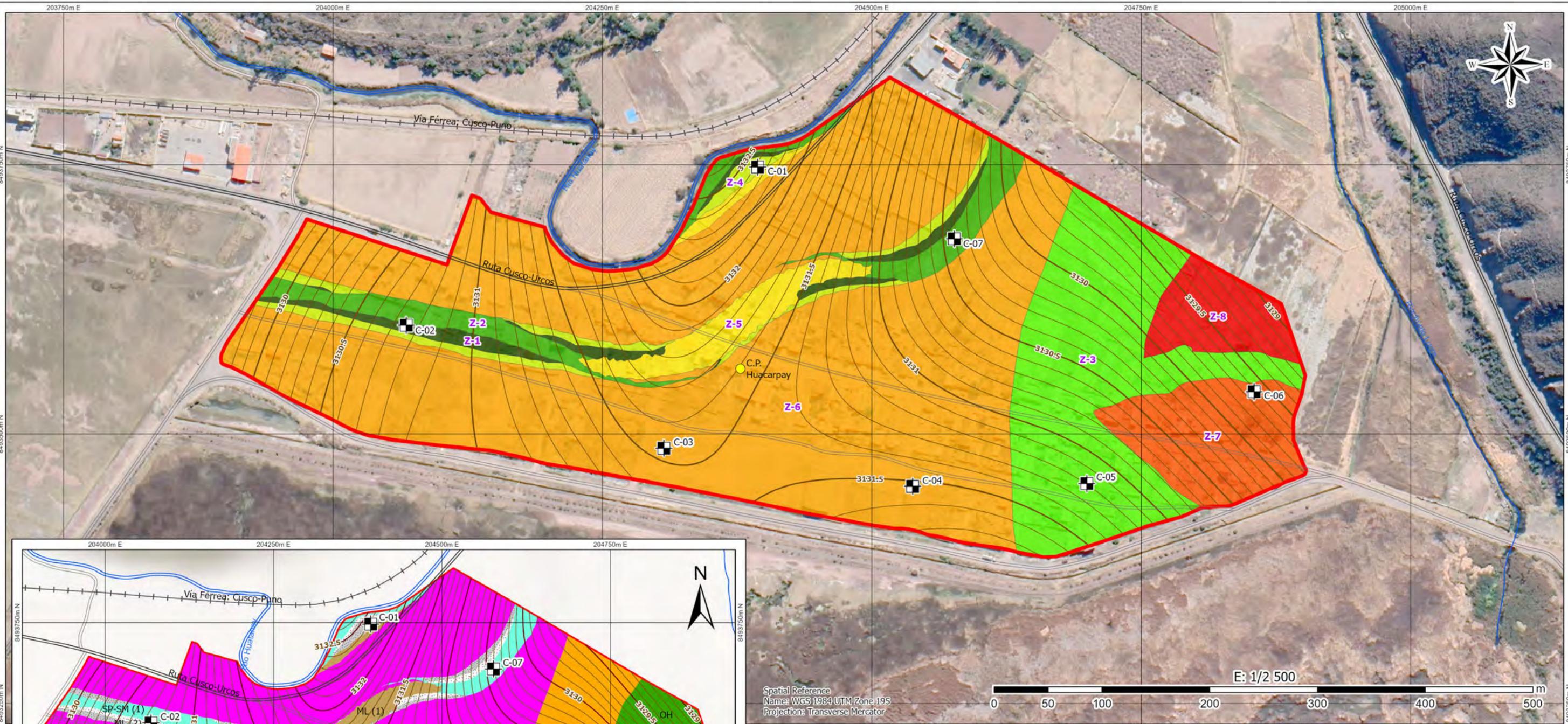
Spatial Reference  
Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
Projection: Transverse Mercator

Coordenadas de puntos de exploración			
Calicata	E (m)	N (m)	Z (m.s.n.m)
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41

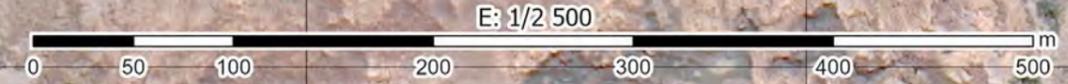
Leyenda	
	lugares
	Calicatas
	Riachuelo Lucre
	Río Huatanay
	Vía: Cusco - Urcos
	Vías principales
	Vía férrea: Cusco - Puno
	Curvas principales de nivel
	Curvas secundarias de nivel
	Área Huacarpay

UNIDADES SUCS					ZONAS GEOT.			PARÁMETROS GEOTÉCNICO		EXTENSIÓN			
Código	Descripción	% de Material			Índice de plast. %	Simb.	Código	Descr.	Simb.	CP (kg/cm <sup>2</sup> ) Df(m):1.50m	Asent. (cm) Df(m):1.50m	Área (m <sup>2</sup> )	Porc. (%)
		%Gravas	%Arenas	%Finos									
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.00%	20.73%	79.27%	2.00%		Z-1	Zona 1		0.40 - 0.57	3.92 - 11.06	124464.84	48.17%
CL-ML (1)	Arcilla limosa de baja plasticidad con arena	0.01%	20.31%	79.68%	7%		Z-2	Zona 2		0.41 - 0.48	6.35 - 13.34	50817.15	19.67%
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.00%	2.05%	97.95%	97.95%		Z-3	Zona 3		0.45 - 0.69	4.54 - 16.43	2837.06	1.10%
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.00%	3.05%	96.95%	16.00%		Z-4	Zona 4		0.36 - 0.42	5.83 - 14.82	16430.63	6.36%
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.0%	14.24%	85.76%	85.76%		Z-5	Zona 5		0.39 - 0.47	6.99 - 14.44	63833.73	24.71%

		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO</b>	
		<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA</b>	
Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2024			
Tipo de plano: ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA A 1.50m DE PROFUNDIDAD			
Escala: INDICADA	Dep. CUSCO	<b>Gt-2</b>	
Datum: WGS84-19S	Prov. QUISPICANCHI		
Elaborado por:	Dist. LUCRE		
		Lugar: CENTRO POBLADO HUACARPAY	
		Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO	
		Bach. HENRY QUISPE MAMANI	



Spatial Reference  
Name: WGS 1984 UTM Zone 19S  
Projection: Transverse Mercator



Coordenadas de puntos de exploración			
Calicata	E (m)	N (m)	Z (m.s.n.m)
C-01	204393.99	8493747.73	3132.38
C-02	204067.90	8493601.06	3130.75
C-03	204306.96	8493487.00	3131.53
C-04	204537.77	8493451.54	3131.52
C-05	204699.42	8493454.23	3131.20
C-06	204854.66	8493539.36	3129.62
C-07	204576.45	8493681.31	3130.41

Leyenda	
	lugares
	Calicatas
	Riachuelo Lucre
	Río Huatanay
	Vía: Cusco - Urcos
	Vías principales
	Vía férrea: Cusco - Puno
	Curvas principales de nivel
	Curvas secundarias de nivel
	Área Huacarpay

UNIDADES SUCS					ZONAS GEOT.			PARÁMETROS GEOTÉCNICO		EXTENSIÓN		
Código	Descripción	% de Material			Índice de plast. %	Código	Descr.	Simb.	CP (kg/cm <sup>2</sup> )	Asent. (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Porc. (%)
		%Gravas	%Arenas	%Finos								
SP-SM (2)	Arena mal graduada con limo	0.28%	92.16%	7.57%	7.57%	Z-1	Zona 1		2.15 - 2.46	0.48 - 1.12	5533.62	2.14%
SP-SM (1)	Arena mal graduada con limo y grava	16.62%	73.60%	9.78%	NP	Z-2	Zona 2		2.04 - 2.35	0.59 - 1.22	12055.91	4.66%
CH	Arcilla densa de alta plasticidad	0.00%	2.05%	97.95%	0.979531	Z-3	Zona 3		0.81 - 1.06	2.69 - 9.88	41723.56	16.14%
ML (2)	Limo de baja plasticidad arenoso	0.01%	31.04%	68.95%	NP	Z-4	Zona 4		0.54 - 0.69	3.21 - 6.93	6606.60	2.56%
ML (1)	Limo de baja plasticidad	0.00%	20.73%	79.27%	2.00%	Z-5	Zona 5		0.63 - 0.79	3.71 - 8.95	8428.66	3.26%
CL	Arcilla ligera de baja plasticidad	0.00%	3.05%	96.95%	16.00%	Z-6	Zona 6		0.64 - 0.86	4.04 - 10.60	159606.80	61.75%
CL-ML (2)	Arcilla limosa de baja plasticidad	0.0%	14.24%	85.76%	85.76%	Z-7	Zona 7		0.53 - 0.85	5.11 - 12.36	15827.43	6.12%
OH	Arcilla organica	0.00%	0.84%	99.16%	68%	Z-8	Zona 8		0.46 - 0.756	7.34 - 15.47	8683.80	3.36%

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA**

Proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE - QUISPICANCHI - CUSCO, 2024

Tipo de plano: ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA A 3.50m DE PROFUNDIDAD

Escala: INDICADA	Dep. CUSCO	Gt-3
Datum: WGS84-19S	Prov. QUISPICANCHI	
Elaborado por:	Dist. LUCRE	
	Lugar: CENTRO POBLADO HUACARPAY	

Bach. ROLY AYMACHOQUE GONZALO  
Bach. HENRY QUISPE MAMANI

## **Perfiles estratigráficos**



**PERFIL ESTRATIGRAFICO (ANSI ASTM D 2487 y D 2408)**

**PROYECTO:** ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2025

<b>CALICATA:</b>  <b>C-02</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>		
	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Altura</b>
	8493601.055	204067.9	3131 m.s.n.m.

**LUGAR:** Cc.pp Huacarpay      **OBJETO:** Cimentación

ESCALA GRAF.	PROFUNDIDAD	LONGITUD	ESTRATO	FOTO	SIMBOLOGIA (CLAS. SUCS)	NOMBRE (CLAS. SUCS)	CONTENIDO HUEMEDAD (%)	ANALISIS GRANULOMÉTRICO		LÍMITES DE CONSISTENCIA (%)		Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ), Cohesión (kgf/cm <sup>2</sup> ), Ang. Fricción(°)	
	-0.80	0.80	E-4			Desmonte							
	-1.50	0.70	E-3			CL_ML	22%	% GRA 0 % ARE 29 % L-A 71	LL 26 LP 21 IP 5	Y C φ	1.50 0.23 24.57		
	-2.30	0.80	E-2			ML	24%	% GRA 0 % ARE 20.73 % L-A 79.27	LL 22 LP 20 IP 2	Y C φ	1.48 0.22 25.95		
	-3.60	1.30	E-1			SP_SM	17%	% GRA 0.28 % ARE 92.16 % L-A 7.57	LL NP LP NP IP NP	Y C φ	1.60 0.02 32.64		

**E-4, 0.0m a -0.8m:** DESMONTE: Material de relleno formado por una matriz limosa de coloración pardo-rojiza, en estado húmeda de baja consistencia con una delgada capa de cobertura vegetal en la superficie. Todo el conjunto acompañado de algunos restos de basura y desmonte.

**E-2, -0.8m a -1.5m:** ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Fluvioacustrino 1 esta compuesto de alrededor de 70% de finos y 30% de arenas conformando una arcilla limosa de baja plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.

**E-3, -1.5m a -2.3m:** LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacustrino 2 analizado esta compuesto aproximadamente de 80% finos y 20% de arenas finas conformando limos de baja plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion marron-rojiza. Su estado humedo muestra una consistencia blanda.

**E-1, -2.3m a -3.6m:** ARENA MAL GRADUADA CON LIMO (SP-SM): El material cuaternario fluvial analizado esta compuesto aproximadamente de 90% arenas y 10% de finos conformando una arena mal graduada segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza grisacea. Su estado de humedad varia de saturado a humedo mostrando una compacidad suelta a moderada. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los primeros 40cm, se registraron valores menores a 11golpes/10cm, y en los siguientes 40cm, valores que van desde 13 a 14golpes/10cm de auscultacion, lo que indica la continuidad de este estrato y el aumento de su rigides conforme se profundice. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.20m desde superficie.

**FOTOGRAFIAS**



**PERFIL ESTRATIGRAFICO (ANSI ASTM D 2487 y D 2408)**

**PROYECTO:** "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2025"

<b>CALICATA:</b>	<b>C-03</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>		
		E	N	Altura
		8493487.001	204306.961	3132 m.s.n.m.

**LUGAR:** C.P. Huacarpay-Lucrer-Quispicanchi      **OBJETO:** Cimentación

ESCALA GRAF.	PROFUNDIDAD	LONGITUD	ESTRATO	FOTO	SIMBOLIZACION (CLAS. SUCS)	NOMBRE (CLAS. SUCS)	CONTENIDO HUMEDAD (%)	ANALISIS GRANULOMETRICO			LIMITES DE CONSISTENCIA (%)		Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ), Cohesion (kgf/cm <sup>2</sup> ), Ang. Friccion(°)			
								% GRA	% ARE	% L-A	LL	LP	IP	Y	C	φ
	-1.30	1.30	E-3			Desmonte										
	-2.60	1.30	E-2			ML	23%	% GRA 0	% ARE 14.62	% L-A 85.38	LL 26	LP 23	IP 3	Y 1.42	C 0.28	φ 22.78
	-3.70	1.10	E-1			CL	33%	% GRA 0	% ARE 3.05	% L-A 96.95	LL 38	LP 22	IP 16	Y 1.41	C 0.3	φ 25

**E-3, 0.0m a -1.3m:** DESMONTE: Conformada de material de desmonte de plásticos, basura, materiales de construcción entre otros, envueltas caóticamente con arcillas limosas y gravas.

**E-2, -1.3m a -2.6m:** LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado esta compuesto aproximadamente de 85% finos y 15% de arenas finas conformando limos de baja plasticidad con arenas segun SUCS, tiene una coloracion marron-rojiza. Su estado humedo muestra una consistencia blanda.

**E-1, -2.6m a -3.7m:** ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD (CL): El material cuaternario Fluvioacuático 2 analizado esta compuesto aproximadamente de 95% de finos y 5% de material granular conformando una arcilla ligera de baja plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado de humedad varia de saturado a humedo mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los 1.20 m de auscultacion, se registraron valores menores a 5golpes/10cm, lo que indica su baja consistencia. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 2.60m desde superficie.

**FOTOGRAFIAS**



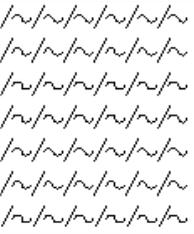
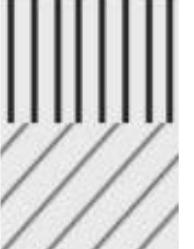
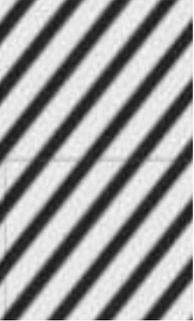


**PERFIL ESTRATIGRAFICO (ANSI ASTM D 2487 y D 2408)**

**PROYECTO:** "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2025"

<b>CALICATA:</b>	<b>C-05</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>		
		E	N	Altura
		8493454.225	204699.423	3131 m.s.n.m.

<b>LUGAR:</b> C.P. Huacarpay-Lucre-Quispicanchi	<b>OBJETO:</b> Cimentación
---	----------------------------

ESCALA GRAF.	PROFUNDIDAD	LONGITUD	ESTRATO	FOTO	SIMBOLIZACION (CLAS. SUCS)	NOMBRE (CLAS. SUCS)	CONTENIDO HUEMEDAD (%)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		LÍMITES DE CONSISTENCIA (%)		Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ), Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> ), Ang. Friccion(°)		
								% GRA	% ARE	% L-A	LL	LP	IP	Y
	-1.00	1.00	E-3			Desmonte								
	-2.10	1.10	E-2			CL_ML	25%	% GRA 0	% ARE 14.24	% L-A 85.76	LL 28	LP 21	IP 7	Y 1.41 C 0.27 φ 22.629
	-3.50	1.40	E-1			CH	29%	% GRA 0	% ARE 2.05	% L-A 97.95	LL 55	LP 26	IP 29	Y 1.44 C 0.4 φ 21.49

**E-3, 0.0m a -1m:** DESMONTE: Conformada de material de desmonte de plásticos, basura, materiales de construcción entre otros, envueltas caóticamente con limos arcillosos y gravas.

**E-2, -1m a -2.1m:** ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML): El material cuaternario Lacustrino esta compuesto de alrededor de 85% de finos y 15% de material granular conformando una arcilla limosa de baja plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado húmedo evidencia una consistencia blanda.

**E-1, -2.1m a -3.5m:** ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD CON ARENA (CH): El material cuaternario Lacustrino analizado esta compuesto aproximadamente de 98% de finos y 2 % de material granular conformando una arcilla densa de alta plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado de humedad varia de humedo a saturado mostrando una consistencia blanda. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en el 1.00 m de auscultacion, se registraron valores menores a 6 golpes/10cm, lo que indica su baja consistencia. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.50m desde superficie.

**FOTOGRAFIAS**



**PERFIL ESTRATIGRAFICO (ANSI ASTM D 2487 y D 2408)**

**PROYECTO:** "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2025"

<b>CALICATA:</b>	<b>C-06</b>	<b>COORDENADAS UTM</b>		
		<b>E</b>	<b>N</b>	<b>Altura</b>
		8493539.358	204854.657	3130 m.s.n.m.

<b>LUGAR:</b>	<b>C.P. Huacarpay-Lucrer-Quispicanchi</b>	<b>OBJETO:</b>	<b>Cimentación</b>
---------------	---	----------------	--------------------

ESCALA GRAF.	PROFUNDIDAD	LONGITUD	ESTRATO	FOTO	SIMBOLOZACION (CLAS. SUCS)	NOMBRE (CLAS. SUCS)	CONTENIDO HUMEDAD (%)	ANALISIS GRANULO-METRICO		LIMITES DE CONSISTENCIA (%)			Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ), Cohesion (kgf/cm <sup>2</sup> ), Ang. Friccion(°)				
								% GRA	% ARE	% L-A	LL	LP	IP	Y	C	φ	
	-3.70	3.70	E-3			CL_ML	26%	% GRA 0	% ARE 16.98	% L-A 83.02	LL 28	LP 21	IP 7	Y 1.4	C 0.23	φ 24.35	
	-4.00	0.30	E-2				CH	30%	% GRA 0	% ARE 2.03	% L-A 97.97	LL 56	LP 29	IP 27	Y 1.45	C 0.36	φ 26.207
	-4.50	0.50	E-1					OH	58%	% GRA 0	% ARE 0.84	% L-A 99.16	LL 139	LP 71	IP 68	Y 1.14	C 0.39

**E-3, 0.0m a -3.7m:** ARCILLA LIMOSA DE BAJA PLASTICIDAD (CL-ML):El material cuaternario Lacustrino esta compuesto de alrededor de 85% de finos y 15% de material granular conformando una arcilla limosa de baja plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado de humedad varia de humedo a saturado mostrando una consistencia blanda.

**E-2, -3.7m a -4m:** ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD CON ARENA (CH):El material cuaternario Lacustrino analizado esta compuesto aproximadamente de 98% de finos y 2 % de material granular conformando una arcilla densa de alta plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza. Su estado de humedad varia de humedo a saturado mostrando una consistencia blanda.

**E-1, -4m a -4.5m:** ARCILLA ORGANICA/LIMO ORGANICO (OH): El material cuaternario Lacustrino analizado esta compuesto aproximadamente de 99% de finos con presencia de material organico en descomposicion y 1 % de material granular conformando una arcilla organica de muy alta plasticidad segun SUCS, tiene una coloracion gris-negrusco. Su estado de humedad varia de saturado a humedo mostrando una consistencia blanda. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.00m desde superficie

**FOTOGRAFIAS**



PERFIL ESTRATIGRAFICO (ANSI ASTM D 2487 y D 2408)

PROYECTO: "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE LOS SUELOS SUPERFICIALES DE FUNDACIÓN DEL CENTRO POBLADO HUACARPAY PARA SU ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA, LUCRE – QUISPICANCHI – CUSCO, 2025"

CALICATA:	<b>C-07</b>	COORDENADAS UTM		
		E	N	Altura
		8493681.314	204576.451	3130 m.s.n.m.
LUGAR:	C.P. Huacarpay-Lucrer-Quispicanchi		OBJETO:	Cimentación

ESCALA GRAF.	PROFUNDIDAD	LONGITUD	ESTRATO	FOTO	SIMBOLIZACION (CLAS. SUCS)	NOMBRE (CLAS. SUCS)	CONTENIDO HUMEDAD (%)	ANALISIS GRANULOMETRICO		LIMITES DE CONSISTENCIA (%)			Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ), Cohesion (kgf/cm <sup>2</sup> ), Ang. Friccion(°)			
								% GRA	% ARE	% L-A	LL	LP	IP	Y	C	φ
	0.00	3.00	E-2			ML	20%	% GRA 0	% ARE 20.68	% L-A 79.32	LL 31	LP 24	IP 7	Y 1.5	C 0.22	φ 22.875
	-3.00	0.50	E-1			SP_SM	16%	% GRA 11.9	% ARE 68.79	% L-A 19.32	LL NP	LP NP	IP NP	Y 1.68	C 0	φ 32.78

**E-2, 0.0m a -3m:** LIMO DE BAJA PLASTICIDAD (ML):El material cuaternario Fluvioacustrino 2 analizado esta compuesto aproximadamente de 80% finos y 20% de material granular conformando limos de baja plasticidad con arena segun SUCS, tiene una coloracion marron-rojiza. Su estado humedo muestra una consistencia blanda.

**E-1, -3m a -3.5m:** ARENA MAL GRADUADA CON LIMO (SP-SM):El material cuaternario fluvial analizado esta compuesto aproximadamente de 10% de gravas, 70 % arenas y 20% de finos conformando una arena mal graduada con limo y grava segun SUCS, tiene una coloracion pardo-rojiza grisacea. Su estado de humedad varia de saturado a humedo mostrando una compacidad suelta a moderada. La evidencia de los valores obtenidos del DPL muestran que en los primeros 60cm, se registraron valores desde 12 a 16golpes/10cm de auscultacion, lo que indica la continuidad de este estrato y el aumento de su rigides conforme se profundisa. A la fecha de la exploración, se presencia la existencia de nivel freático a la profundidad de 3.00m desde superficie.

FOTOGRAFIAS



# **Ensayos de laboratorio**

**Calicata C-04**

**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado  
**investigación:** Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

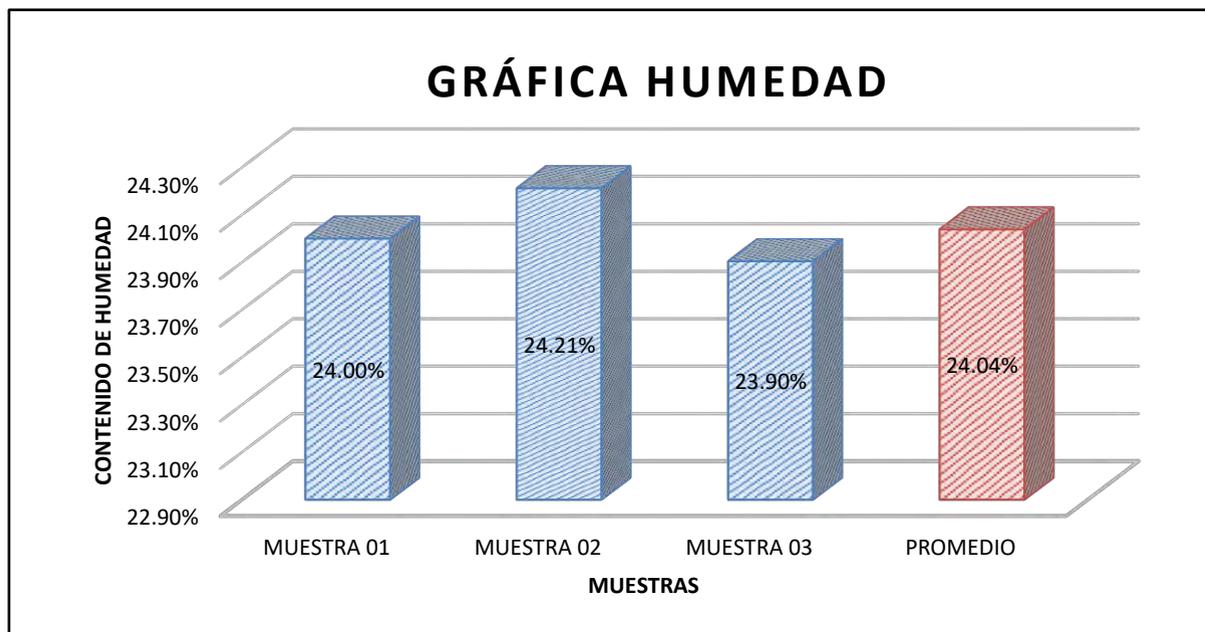
**Presentación:** -

**Descripcion:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 108-2016** **CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	17.17	20.21	20.02
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	96.17	102.50	113.58
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	80.88	86.46	95.53
Peso del Agua (gr)	15.29	16.04	18.05
Peso de la Muestra Seca (gr)	63.71	66.25	75.51
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>24.00%</b>	<b>24.21%</b>	<b>23.90%</b>



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 24.04%**

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio

**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación  
**investigación:** Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024  
**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco  
**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo  
**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024 **Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m **Presentación:** -  
**Descripcion:** Limo de baja plasticidad **Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 107-2016 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

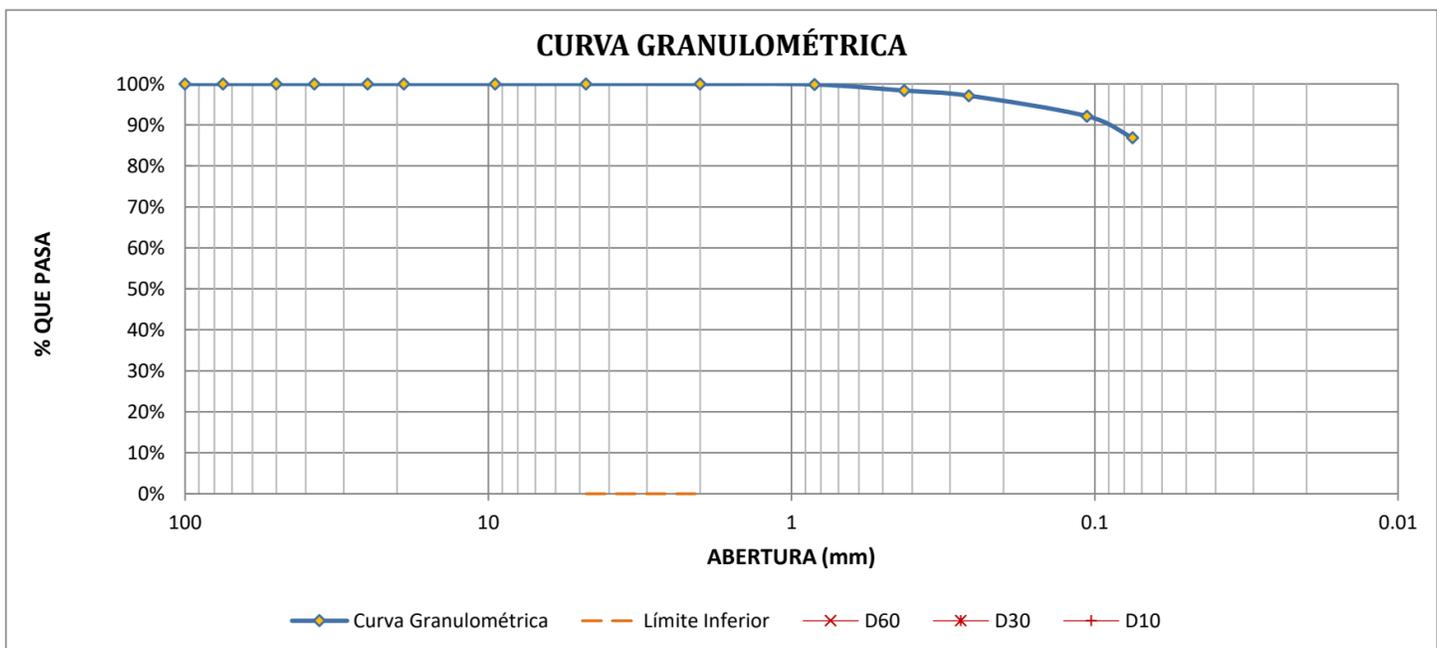
**Antes del Lavado** **Despues del Lavado**  
 Peso de la Muestra Seca = 686.00 gr Peso de la Muestra Seca = 93.70 gr  
% de Error en Peso = 1.59% **Ok!**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	92.2	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 4	4.76	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 10	2	0.00	92.21	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 20	0.840	0.90	91.31	0.13%	0.13%	99.87%
Nº 40	0.425	10.25	81.06	1.49%	1.63%	98.37%
Nº 60	0.260	8.58	72.48	1.25%	2.88%	97.12%
Nº 140	0.106	34.21	38.27	4.99%	7.86%	92.14%
Nº 200	0.075	36.25	2.02	5.28%	13.15%	86.85%
Cazuela	-	2.02	-	0.29%	13.44%	-
Lavado	-	592.30	-	86.56%	99.71%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>92.21</b>		<b>100.00%</b>		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 0.00%	% de grava = 0.00%	T. Max.Absoluto= Nº 10
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 13.15%	% de arena = 100.00%	T. Max.Relativo= Nº 140
% de Finos(Pas Nº200)= 86.85%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= ML
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-4 (8) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = -
D10 = -
<b>Cu = -</b>

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = -
D30 = -
D10 = -
<b>Cc = -</b>



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio

**PRO INGEMA S.AC.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES  
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -CUSCO: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457  
**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su **investigación:** Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

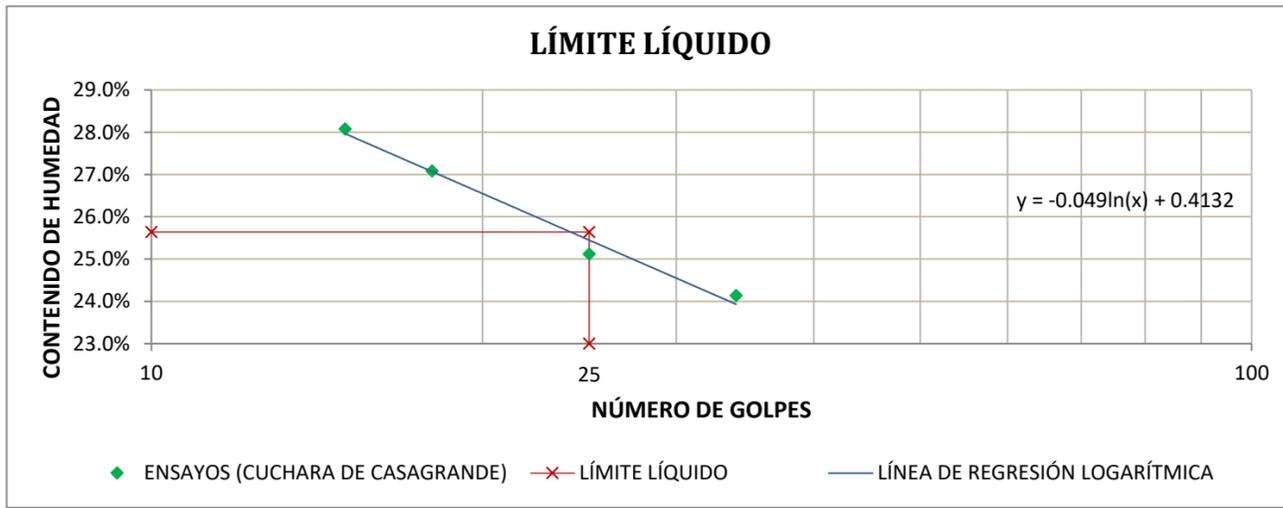
**Presentación:** -

**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

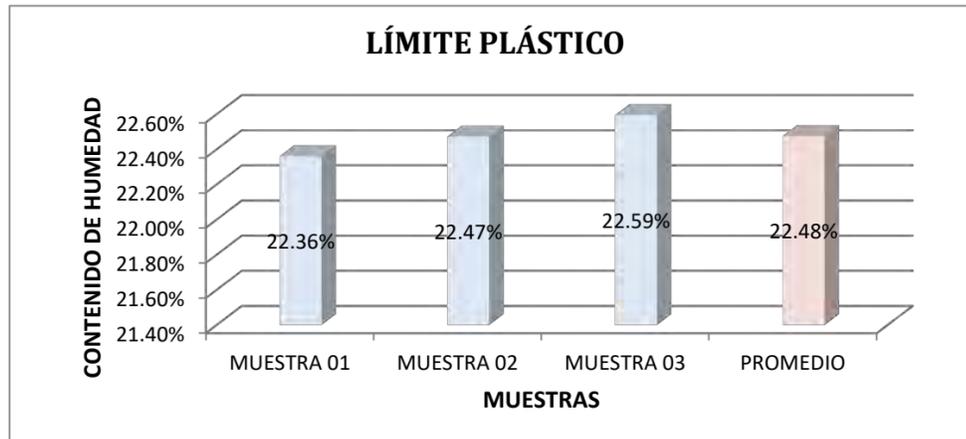
**MTC E 110 - 2016** **LÍMITE LÍQUIDO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	8.10	8.97	10.02	7.96
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	24.61	19.63	20.39	22.83
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	21.40	17.49	18.18	19.57
Peso del Agua (gr)	3.21	2.14	2.21	3.26
Peso de la Muestra Seca (gr)	13.30	8.52	8.16	11.61
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>24.14%</b>	<b>25.12%</b>	<b>27.08%</b>	<b>28.08%</b>
<b>Número de Golpes</b>	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>18</b>	<b>15</b>



**MTC E 111 - 2016** **LÍMITE PLÁSTICO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	9.62	8.51	9.55
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	11.59	12.87	12.48
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.23	12.07	11.94
Peso del Agua (gr)	0.36	0.80	0.54
Peso de la Muestra Seca (gr)	1.61	3.56	2.39
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>22.36%</b>	<b>22.47%</b>	<b>22.59%</b>



<b>LÍMITE LÍQUIDO = 26.00%</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = 22.00%</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = 4.00%</b>

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

-ESTUDIO DE INGENIERIA, CONSULTORIA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**PRO INGEMA S.A.C.**

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**investigación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Presentación:** -

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**ASTM D-2487**

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
<b>De Granulometría</b>	
% de Gruesos =	13.15%
% de Finos =	86.85%
Total =	100.00%
% de Grava =	0.00%
% de Arena =	13.15%
Total =	13.15%
<b>Fracción Gruesa</b>	
% de Grava =	0.00%
% de Arena =	100.00%
Total =	100.00%
<b>Coefficientes</b>	
Cu =	-
Cc =	-
<b>De Límites de Consistencia</b>	
LL =	26.00%
LP =	22.00%
IP =	4.00%
<b>Otros Datos</b>	
Tipo = Inorgánico	

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
<b>GRAVAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla Nº 200	GW GP	Grava bien graduada Grava mal graduada
<b>GRAVAS CON FINOS</b> Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4	GM GC	Grava limosa Grava arcillosa
<b>GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS</b> Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	GC - GM GW - GM	Grava limosa arcillosa Grava bien graduada con limo
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b> Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GW - GC GP - GM GP - GC	Grava bien graduada con arcilla Grava mal graduada con limo Grava mal graduada con arcilla
<b>ARENAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla Nº 200	SW SP	Arena bien graduada Arena mal graduada
<b>ARENAS CON FINOS</b> Mas del 12% pasa la malla Nº 200	SM SC	Arena limosa Arena arcillosa
<b>ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS</b> Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	SC - SM SW - SM SW - SC SP - SM SP - SC	Arena limosa arcillosa Arena bien graduada con limo Arena bien graduada con arcilla Arena mal graduada con limo Arena mal graduada con arcilla
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor que 50	ML CL	Limo de baja plasticidad Arcilla de baja plasticidad
<b>LIMOS Y ARCILLAS FINAS</b> El 50% o más pasa la malla Nº 200	OL MH CH	Limo orgánico Arcilla orgánica Limo de alta plasticidad Arcilla de alta plasticidad
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b> Principalmente materia orgánica de color oscuro	OH Pt	Limo orgánico Arcilla orgánica Turba

ML = Limo de baja plasticidad

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**  
-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani Y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

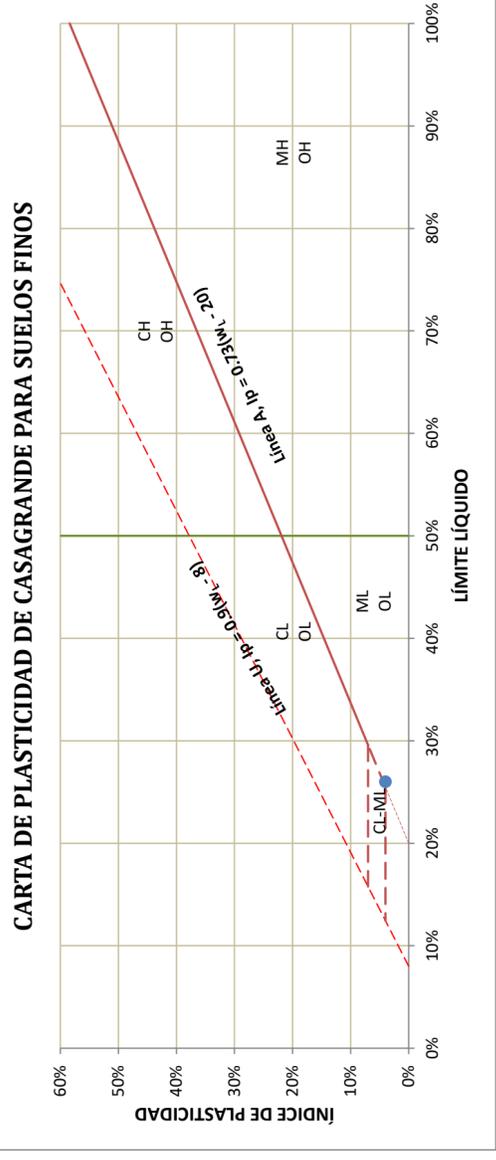
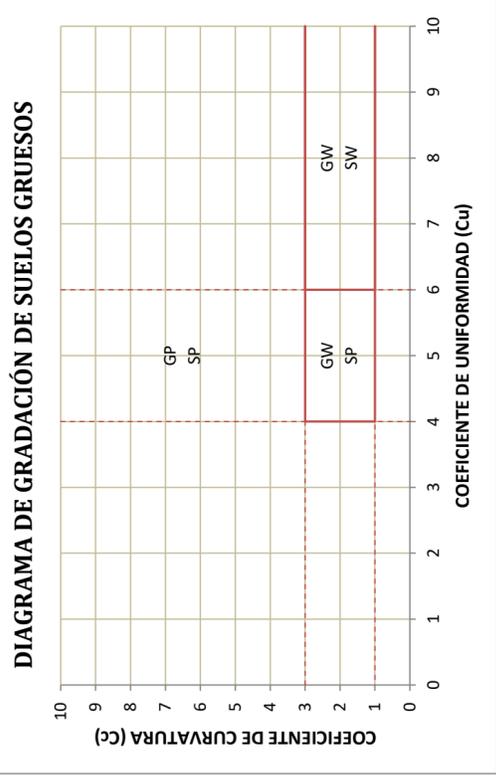
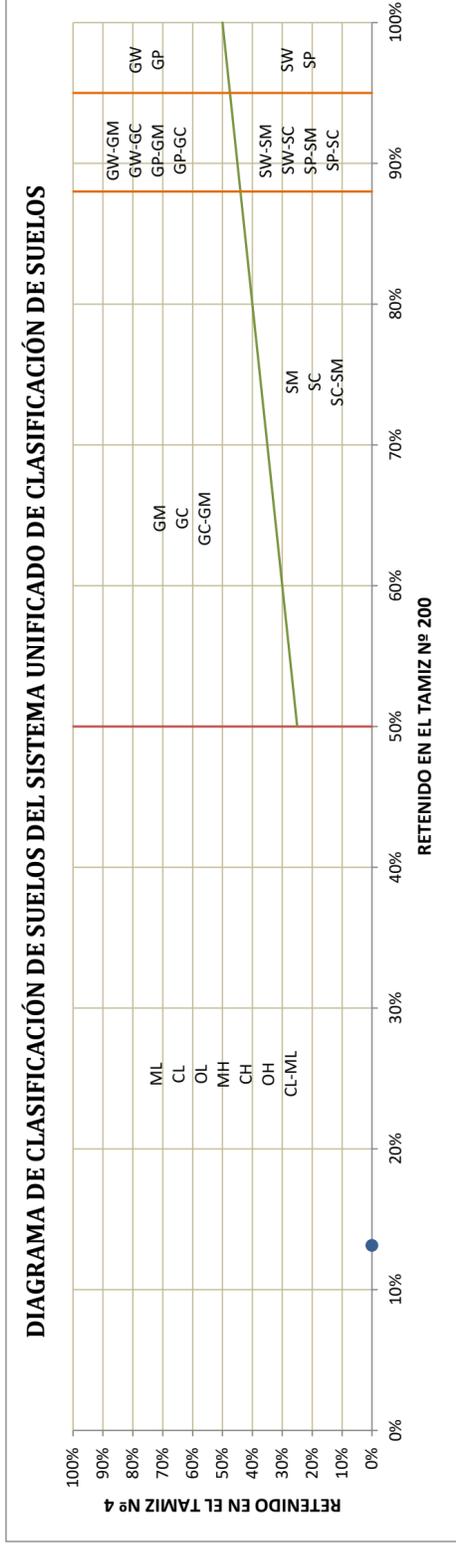
**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Presentación:** -

**Cantidad:** 15 kg aprox.

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



**PRO INGEMA S.AC.**

**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**



-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado  
**investigación:** Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Presentación:** -

**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**DENSIDAD EN CAMPO POR MEDIO DE UN CILINDRO**

DATOS DE MOLDE	
Diametro promedio (cm)	5.01
Altura promedio (cm)	10.14
<b>Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>199.90</b>

DATOS DEL ENSAYO	
Peso de molde + Peso de suelo humedo (gr)	585
Peso de molde (gr)	226.00
Peso de suelo humedo (gr)	359.00
Densidad Natural Húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.80
Contenido de Humedad	24.04%

**DENSIDAD NATURAL HUMEDA = 1.80 gr/cm<sup>3</sup>**

**DENSIDAD NATURAL SECA = 1.45 gr/cm<sup>3</sup>**

**DENSIDAD SATURADA = 2.06 gr/cm<sup>3</sup>**



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Presentación:** -

**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 123 - 2016**

**CORTE DIRECTO-MUESTRA REMOLDEADA**

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.95 mm
Altura $L_0$ =	21.60 mm
Área =	20.39 cm <sup>2</sup>
Volumen =	44.04 cm <sup>3</sup>

DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Peso =	82.02 gr
Peso Unitario húmedo =	1.86 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad =	24.04%
Peso Unitario seco =	1.50 gr/cm <sup>3</sup>

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.20 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL			ÁREA CORREGIDA A'	ESFUERZO CORTANTE $\tau$		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03		M-01	M-02	M-03
mm	N			mm			kg			cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>		
0.20	32.1	41.4	45.9	0.001	-0.001	-0.003	3.27	4.22	4.68	20.29	0.16	0.21	0.23
0.40	60.0	73.9	81.6	-0.001	-0.003	-0.008	6.12	7.54	8.32	20.18	0.30	0.37	0.41
0.60	72.2	92.8	109.5	-0.003	-0.005	-0.008	7.36	9.46	11.17	20.08	0.36	0.46	0.55
0.80	85.3	107.2	134.4	-0.005	-0.010	-0.008	8.70	10.93	13.70	19.98	0.43	0.54	0.67
1.00	87.2	112.8	144.3	-0.008	-0.012	-0.008	8.89	11.50	14.71	19.88	0.44	0.56	0.72
1.50	90.6	119.3	161.4	-0.010	-0.015	-0.012	9.24	12.17	16.46	19.62	0.45	0.60	0.81
2.00	91.8	121.5	171.4	-0.015	-0.020	0.000	9.36	12.39	17.48	19.37	0.46	0.61	0.86
2.50	95.1	127.1	174.1	-0.025	-0.025	-0.020	9.70	12.96	17.75	19.11	0.48	0.64	0.87
3.00	94.5	126.0	170.1	-0.039	-0.030	-0.034	9.64	12.85	17.35	18.86	0.47	0.63	0.85
3.50	90.0	126.8	168.0	-0.042	-0.042	-0.058	9.18	12.93	17.13	18.61	0.45	0.63	0.84
4.00	87.8	124.2	166.8	-0.058	-0.074	-0.066	8.95	12.66	17.01	18.35	0.44	0.62	0.83
4.50	85.8	120.2	165.0	-0.075	-0.088	-0.074	8.75	12.26	16.83	18.10	0.43	0.60	0.83
5.00	84.9	117.2	159.0	-0.090	-0.093	-0.077	8.66	11.95	16.21	17.84	0.42	0.59	0.80
5.50	83.0	114.2	154.8	-0.100	-0.103	-0.082	8.46	11.65	15.79	17.59	0.42	0.57	0.77



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**  
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

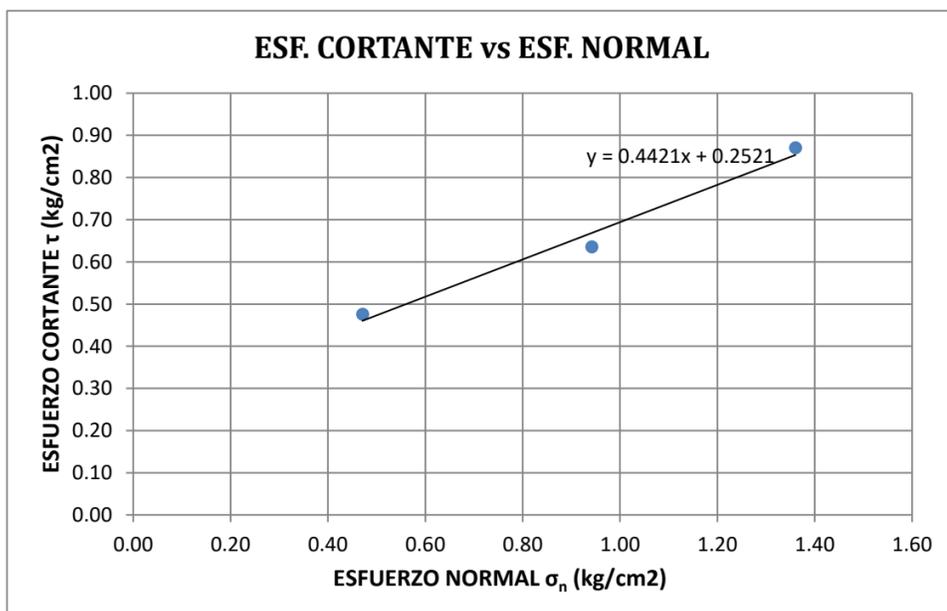
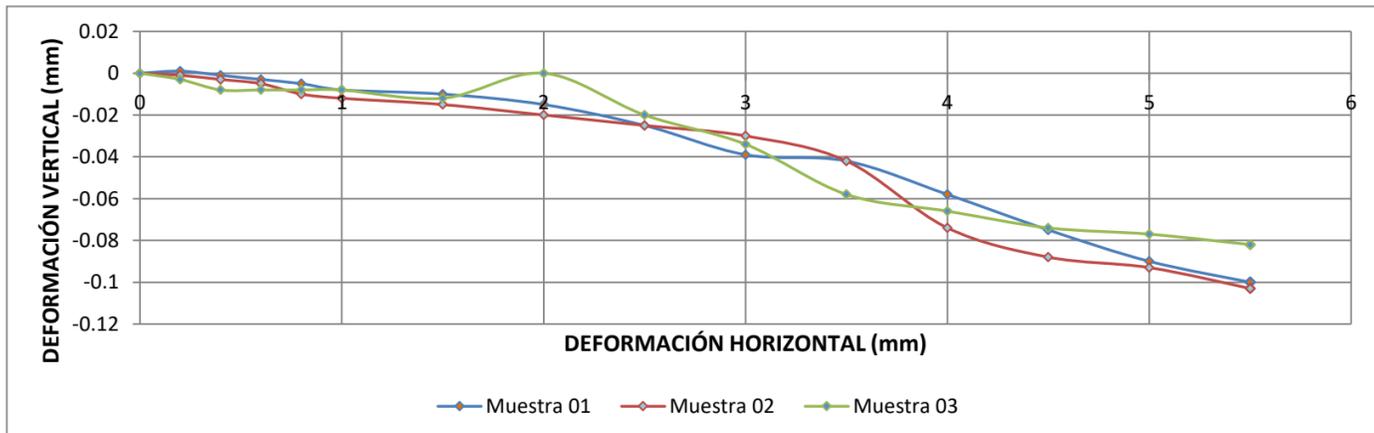
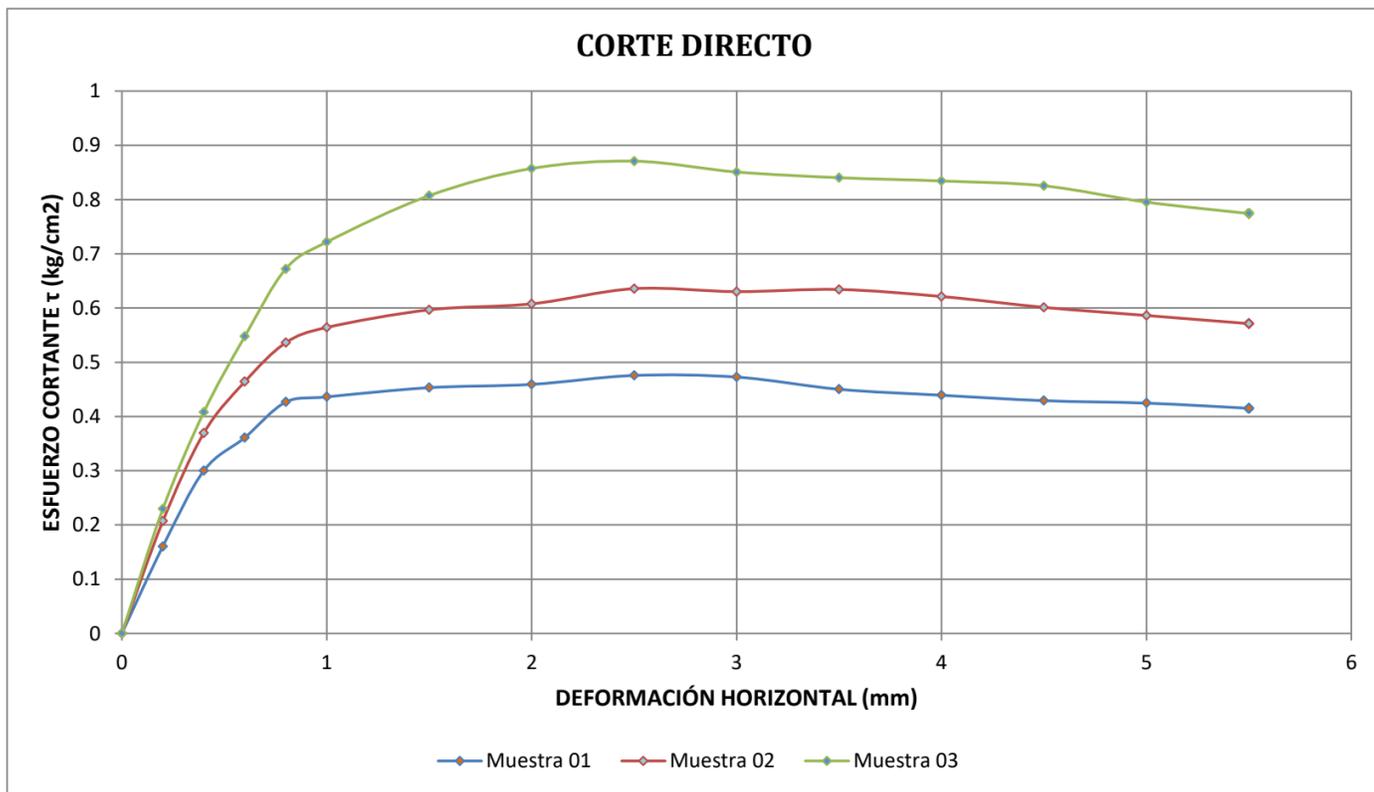
**Presentación:** -

**Descripción:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 123 - 2016**

**CORTE DIRECTO-MUESTRA REMOLDEADA**



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	9.00	18.00	26.00
Área en Corte (cm²)	19.11	19.11	19.11
$\sigma_n$ (kg/cm²)	0.47	0.94	1.36
$\tau$ (kg/cm²)	0.48	0.64	0.87

**Cohesión = 0.25 kg/cm²**  
**Ángulo de fricción interna = 23° 51' 03"**

PRO INGEMA S.A.C.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.



-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto:** Estudio Geológico y Geotécnico de los Suelos Superficiales de Fundación del Centro Poblado Huacarpay para su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Solicita:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Presentación:** -

**Descripcion:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

ASTM D - 2435

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS

DATOS DEL ANILLO

Diametro de anillo D(cm): 5.13  
Altura de anillo(cm): 2.00  
Peso de anillo: 105.89

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$e = \frac{w G_s}{S} \rightarrow S = \frac{w G_s}{e}$$

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{A_s H_s \gamma_w}$$

$$H_s = \frac{W_s}{G_s A_s \gamma_w}$$

$$e_n = \frac{H_{vn}}{H_s} = e_o - \frac{\Delta H_{vn}}{H_s}$$

$$e_n = \frac{H_{vn}}{H_s} = e_s + \frac{\Delta H_{vn}}{H_s}$$

DATOS DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION	Antes del ensayo
Peso de anillo+M.Saturada:	193.53
Peso de capsula:	21.19
Peso de cap + M.Humeda:	99.11
Peso de cap + M.Seca:	86.6

DATOS DEL ENSAYO DE CONSOLIDACION	del ensayo
Peso de anillo+M.Saturada:	192.19
Peso de capsula:	21.62
Peso de cap + M.Humeda:	107.80
Peso de cap + M.Seca:	95.20

DATOS DE MUESTRA

Diametro	Altura (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Volumen	Humedad
5.13	2.00	20.67	41.34	19.13%
Wsh(gf)	Wss(gf)	Gs	Yh(g/cm <sup>3</sup> )	Yd(g/cm <sup>3</sup> )
86.30	72.44	2.65	2.09	1.75
Yw(g/cm <sup>2</sup> )	e <sub>o</sub>	S(%)	Hs(cm)	Hv <sub>o</sub> (cm)
1.00	0.51	99.0%	1.32	0.68

DATOS DE LABORATORIO EN EL PROCESO DE CARGA

Relación del brazo:	Peso del bloque + piedra porosa:						
	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00
W en brazo (kg):							
Tiempo	Deformacion (")						
0	0	0	0	0	0	0	
6s	15	0	16	32	37	51	
15s	17	0	18	37	44	60	
30s	20	0	21	40	49	66	
1 min	24	0	23	44	54	72	
2min	26	0	25.5	47	58	77	
4 min	29	0	28	50	62	81	
8min	30	0	30.05	53	65	85	
15min	31	0	32.05	55.5	69	88.5	
30min	32.5	1.5	34.05	60	71.5	92	
1 horas	34	2.5	37	64.5	75	96	
2 horas	35	5	39.5	66	78	100	
4 horas	36.5	6	41	69	81	103	
8 horas	37.5	7.5	45	71.5	83.5	107	
24 horas	38.5	9	47.5	74.5	88	112	

DATOS DE LABORATORIO EN EL PROCESO DE DESCARGA

Relación del brazo:	Peso del					
W en brazo (kg):	8.00	4.00	2.00	1.00	0.50	0.25
Deformacion	0	13	12.5	12.5	11.5	5

PRO INGEMA S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.



-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto:** Estudio Geológico y Geotécnico de los Suelos Superficiales de Fundación del Centro Poblado Huacarpay para su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Solicita:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Presentación:** -

**Descripcion:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**ASTM D - 2435 ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS**

**DATOS DE LABORATORIO EN EL PROCESO DE CARGA**

(") (mm)  
0.0001 0.00254

Relación del brazo: W en brazo (kg): Tiempo	Peso del bloque + piedra porosa:						
	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00	8.00	16.00
	Deformacion (mm)						
0	0.00	0.10	0.12	0.24	0.43	0.65	
6s	0.04	0.10	0.16	0.32	0.52	0.78	
15s	0.04	0.10	0.17	0.34	0.54	0.81	
30s	0.05	0.10	0.17	0.34	0.55	0.82	
1 min	0.06	0.10	0.18	0.35	0.57	0.84	
2min	0.07	0.10	0.19	0.36	0.58	0.85	
4 min	0.07	0.10	0.19	0.37	0.59	0.86	
8min	0.08	0.10	0.20	0.38	0.60	0.87	
15min	0.08	0.10	0.20	0.38	0.61	0.88	
30min	0.08	0.10	0.21	0.39	0.61	0.89	
1 horas	0.09	0.10	0.21	0.41	0.62	0.90	
2 horas	0.09	0.11	0.22	0.41	0.63	0.91	
4 horas	0.09	0.11	0.22	0.42	0.64	0.92	
8 horas	0.10	0.12	0.23	0.42	0.64	0.93	
24 horas	0.10	0.12	0.24	0.43	0.65	0.94	

**DATOS DE LABORATORIO EN EL PROCESO DE DESCARGA**

W en brazo (kg):	8.00	4.00	2.00	1.00	0.50	0.25
Deformacion	0.00	0.91	0.87	0.84	0.81	0.80

Cargas	Deformacion (mm)	Deformacion (%)	Altura de muestra	Relacion de vacios
2.5 Kpa	0.000	0.000	20.000	0.512
12.5 Kpa	0.098	0.489	19.902	0.507
25 Kpa	0.121	0.603	19.879	0.506
50 Kpa	0.241	1.207	19.759	0.500
100 Kpa	0.431	2.153	19.569	0.491
200 Kpa	0.654	3.270	19.346	0.479
400 Kpa	0.939	4.693	19.061	0.465
200 Kpa	0.906	4.528	19.094	0.468
100 Kpa	0.874	4.369	19.126	0.470
50 Kpa	0.842	4.210	19.158	0.473
25 Kpa	0.813	4.064	19.187	0.475
12.5 Kpa	0.800	4.001	19.200	0.476



**Proyecto:** Estudio Geológico y Geotécnico de los Suelos Superficiales de Fundación del Centro Poblado Huacarpay para su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Solicita:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-04-E2"/MA/Prof.1.40-2.90 m

**Presentación:** -

**Descripcion:** Limo de baja plasticidad

**Cantidad:** 15 kg aprox.

ASTM D - 2435

ENSAYO DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL DE SUELOS

PARAMETROS DE CONSOLIDACION

**Esfuerzo critico o de preconsolidacion**

$\sigma_c$  [kPa] = grafico 40

$\sigma'$  [kg/cm<sup>2</sup>] = 0.41

**Esfuerzo efectivo**

Profundidad de capa (m) = 3.50

Densidad (KN/m<sup>3</sup>) = 17.19

$\sigma'$  [kPa] = 60.15

$\sigma'$  [kg/cm<sup>2</sup>] = 0.61

**Relacion de sobreconsolidacion**

$\sigma_c$  [kPa] = 40.00

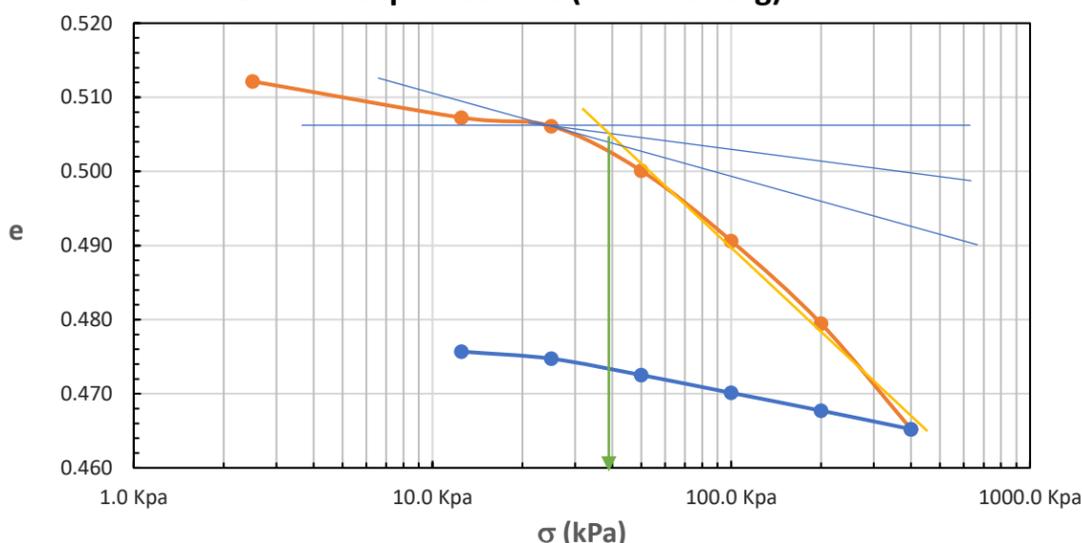
$\sigma'$  [kPa] = 60.15

$$RSC(OCR) = \frac{\sigma_c}{\sigma'}$$

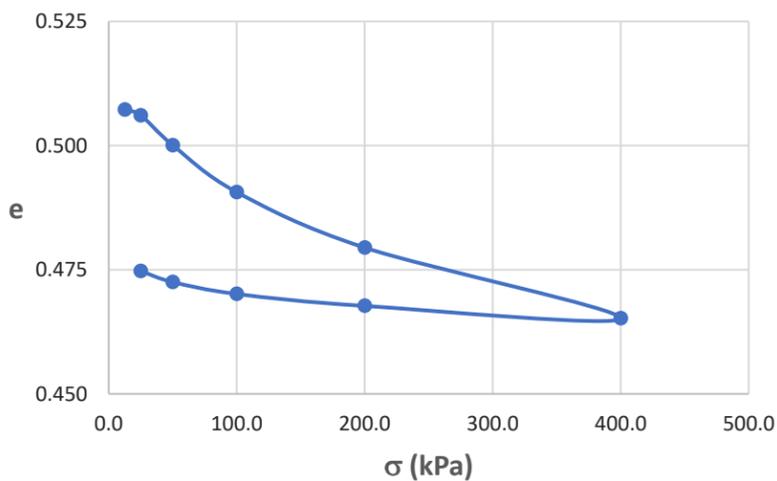
RSC = 0.7

NC= Normalmente consolidado

Curva de Compresibilidad (esc. semi-log)



Curva de Compresibilidad



Coefficiente de compresibilidad ( $a_v$ ) y Modulo volumetrico ( $m_v$ )

Tramo	e	$\sigma$ [kPa]	$a_v$ [m <sup>2</sup> /kN]	$m_v$ [m <sup>2</sup> /kN]
Carga	0.507	12.5		
	0.506	25	0.00009	0.00006
	0.500	50	0.00024	0.00016
	0.491	100	0.00019	0.00013
	0.479	200	0.00011	0.00007
	0.465	400	0.00007	0.00005
Descarga	0.468	200		
	0.470	100		
	0.473	50		
	0.475	25		

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \quad m_v = \frac{a_v}{1 + e_o}$$

$e_o$  0.51

**Indices de compresion ( $c_c$ ) y Recompression ( $c_e$ )**

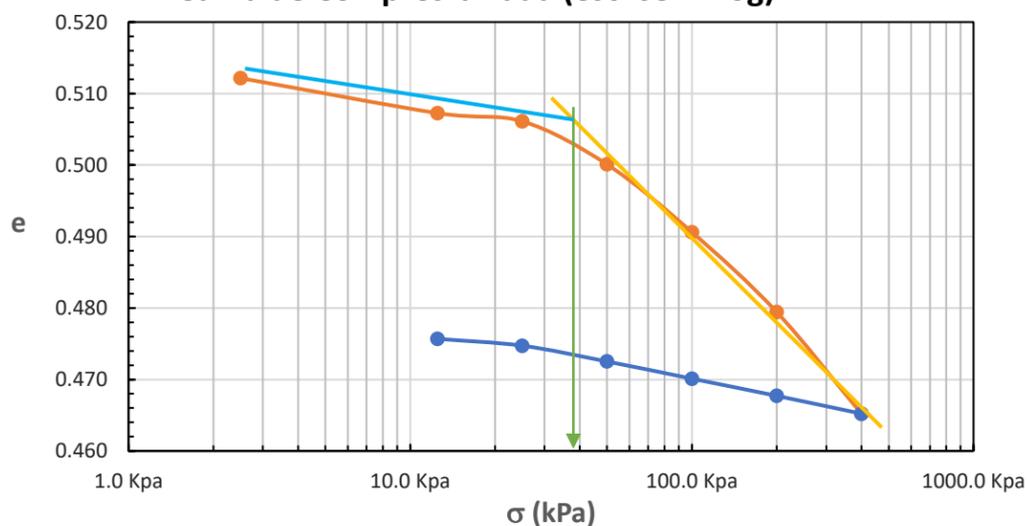
e  $\sigma$  [kPa]  
 0.491 100.00  
 0.465 400.00

$c_c =$  0.04219

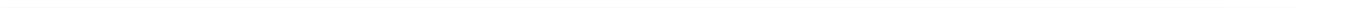
e  $\sigma$  [kPa]  
 0.470 100.00  
 0.475 25.00

$c_e =$  0.00766

Curva de Compresibilidad (esc. semi-log)



**Calicata C-07**



**PRO INGEMA S.AC.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado  
**investigación:** Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

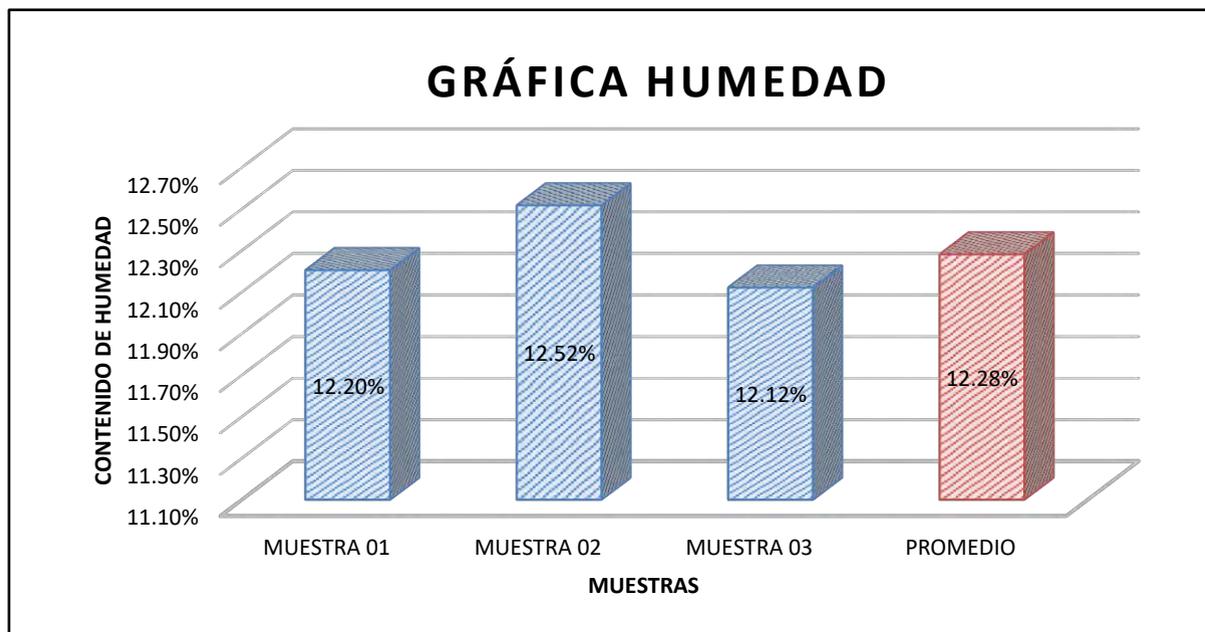
**Presentación:** -

**Descripcion:** Arena mal graduada con limo y grava

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 108-2016** **CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	19.59	19.74	16.61
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	76.04	70.89	100.05
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.90	65.20	91.03
Peso del Agua (gr)	6.14	5.69	9.02
Peso de la Muestra Seca (gr)	50.31	45.46	74.42
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>12.20%</b>	<b>12.52%</b>	<b>12.12%</b>



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 12.28%**

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio

**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación  
**investigación:** Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024  
**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco  
**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo  
**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

0  
**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m  
**Presentación:** -  
**Descripcion:** Arena mal graduada con limo y grava  
**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 107-2016 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

**Antes del Lavado**  
 Peso de la Muestra Seca = 2076.00 gr

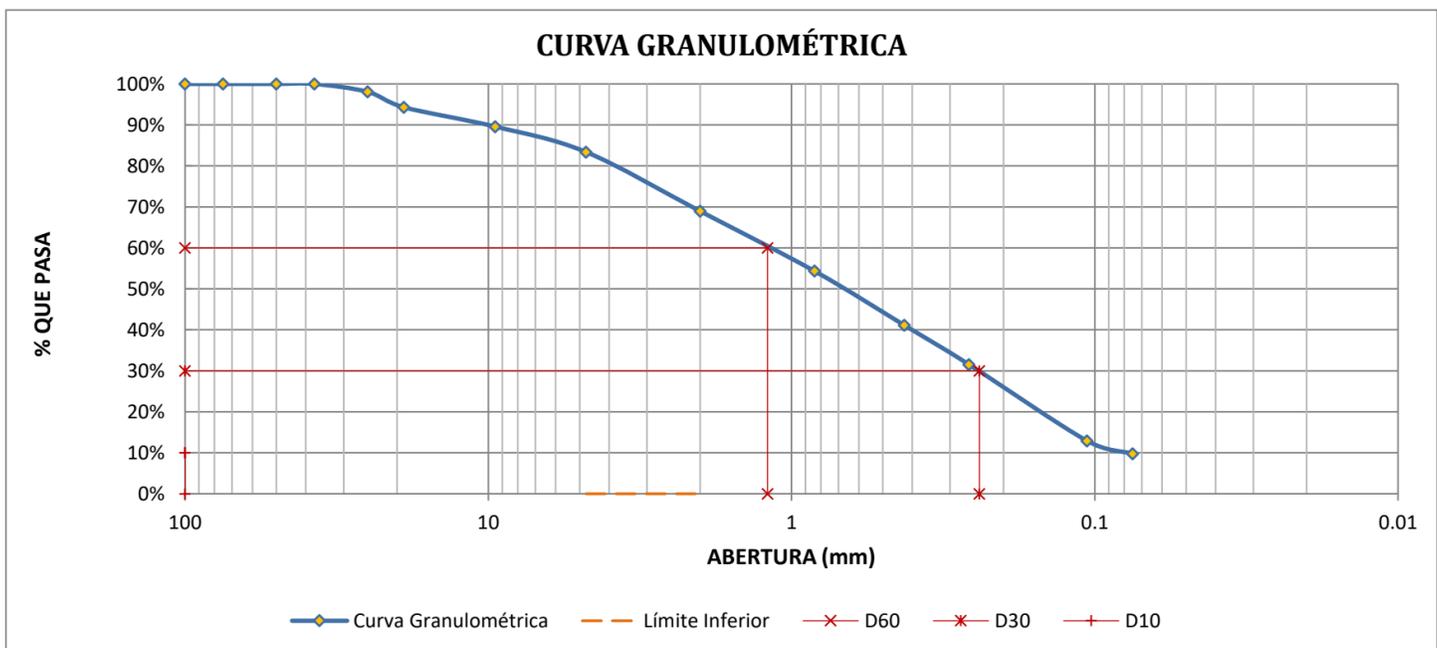
**Despues del Lavado**  
 Peso de la Muestra Seca = 1862.00 gr  
 % de Error en Peso = -0.86% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1878.0	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1878.00	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1878.00	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1878.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	40.00	1838.00	1.93%	1.93%	98.07%
¾"	19	78.00	1760.00	3.76%	5.68%	94.32%
⅜"	9.5	98.00	1662.00	4.72%	10.40%	89.60%
Nº 4	4.76	129.00	1533.00	6.21%	16.62%	83.38%
Nº 10	2	300.00	1233.00	14.45%	31.07%	68.93%
Nº 20	0.840	303.00	930.00	14.60%	45.66%	54.34%
Nº 40	0.425	274.00	656.00	13.20%	58.86%	41.14%
Nº 60	0.260	199.00	457.00	9.59%	68.45%	31.55%
Nº 140	0.106	387.00	70.00	18.64%	87.09%	12.91%
Nº 200	0.075	65.00	5.00	3.13%	90.22%	9.78%
Cazuela	-	5.00	-	0.24%	90.46%	-
Lavado	-	214.00	-	9.54%	99.76%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		<b>1878.00</b>		<b>100.00%</b>		

Fracciones Retenidas	De la Fraccion Gruesa	Propiedades
% de Gravas(Ret.nº4) = 16.62%	% de grava = 18.42%	T. Max.Absoluto= 1½"
% de Arena (Pas Nº4-Ret Nº200)= 73.60%	% de arena = 81.58%	T. Max.Relativo= ¾"
% de Finos(Pas Nº200)= 9.78%	Total = 100.00%	Clasf. SUCS= SP - SM
Total= 100.00%		Clasif.AASHTO= A-1-b (0) =

Calculo del Coeficiente de Uniformidad (Cu)
D60 = 1.20 mm
D10 = 100.00 mm
<b>Cu= 0.01</b>

Calculo del Coeficiente de Curvatura (Cc)
D60 = 1.20 mm
D30 = 0.24 mm
D10 = 100.00 mm
<b>Cc= 0.00</b>



observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio

**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**PRO INGEMA S.A.C.** PROFESIONALES EN INGENIERÍA GEOTECNIA Y MATERIALES  
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -CUSCO: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457  
**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

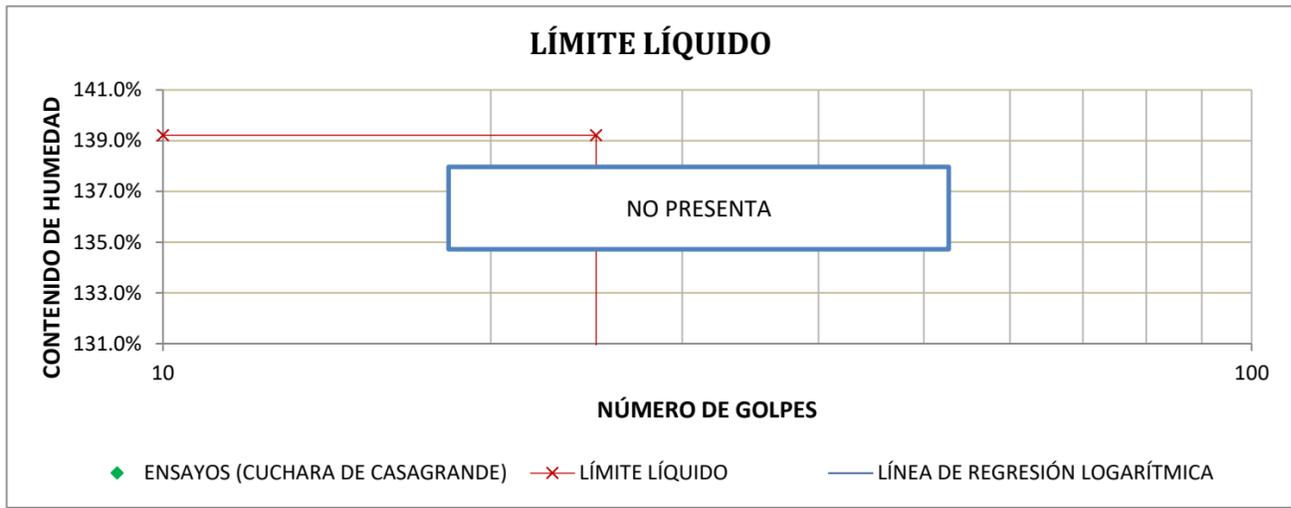
**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su  
**investigación:** Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024  
**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco  
**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo  
**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024 **Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m **Presentación:** -  
**Descripción:** Arena mal graduada con limo y grava **Cantidad:** 15 kg aprox.

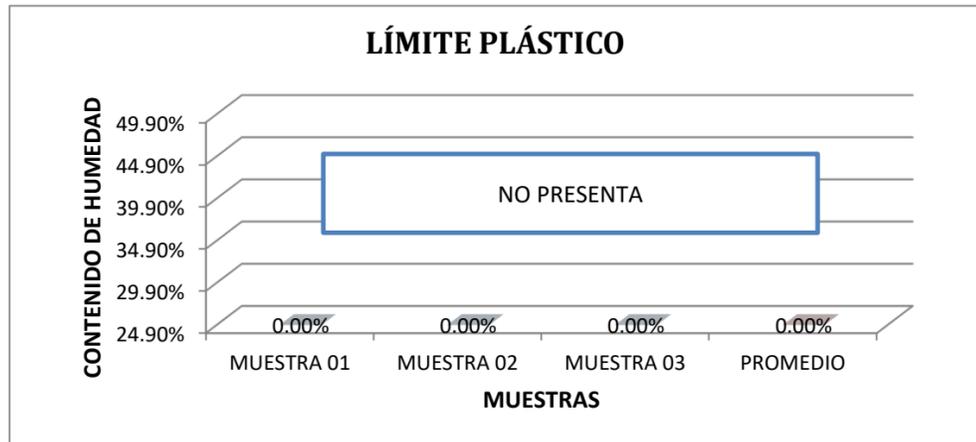
**MTC E 110 - 2016** **LÍMITE LÍQUIDO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>
<b>Número de Golpes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>



**MTC E 111 - 2016** **LÍMITE PLÁSTICO**

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (gr)	0.00	0.00	0.00
Peso de la Muestra Seca (gr)	0.00	0.00	0.00
<b>Contenido de Humedad</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>



**LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA**  
**LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA**  
**ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA**

observaciones: -Muestra tomadas en Campo por el Laboratorio



**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

-ESTUDIO DE INGENIERIA, CONSULTORIA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

PRO INGEMA S.A.C.

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Proyecto de  
investigación:

Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

Ubicación: C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

Tesistas: Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

Fecha Recepción: Cusco, diciembre del 2024

Finalidad: Cimentación

**Datos Muestra**

Identificación: Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

Descripción: Arena mal graduada con limo y grava

Presentación: -

Cantidad: 15 kg aprox.

**ASTM D-2487**

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
<b>De Granulometría</b>	
% de Gruesos =	90.22%
% de Finos =	9.78%
Total =	100.00%
% de Grava =	16.62%
% de Arena =	73.60%
Total =	90.22%
<b>Fracción Gruesa</b>	
% de Grava =	18.42%
% de Arena =	81.58%
Total =	100.00%
<b>Coefficientes</b>	
Cu =	0.01
Cc =	0.000
<b>De Límites de Consistencia</b>	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
<b>Otros Datos</b>	
Tipo =	Inorgánico

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO	SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
<b>GRAVAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla Nº 200 Cu $\geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ Cu $< 4$ ó $1 > Cc > 3$	GW GP	Grava bien graduada Grava mal graduada
<b>GRAVAS CON FINOS</b> Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla Nº 4 Mas del 12% pasa la malla Nº 200 IP $< 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad IP $> 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad 4 $\leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM GC	Grava limosa Grava arcillosa
<b>GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS</b> Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200 Cumple los criterios para GW y GM Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM Cumple los criterios para GP y GM Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GW - GM GW - GC GP - GM GP - GC	Grava bien graduada con limo Grava bien graduada con arcilla Grava mal graduada con limo Grava mal graduada con arcilla
<b>ARENAS LIMPIAS</b> Menos del 5% pasa la malla Nº 200 Cu $\geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$ Cu $< 6$ ó $1 > Cc > 3$	SW SP	Arena bien graduada Arena mal graduada
<b>ARENAS CON FINOS</b> Mas del 12% pasa la malla Nº 200 El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4 IP $< 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad IP $> 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad 4 $\leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM SC	Arena limosa Arena arcillosa
<b>ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS</b> Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200 Cumple los criterios para SW y SM Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM Cumple los criterios para SP y SM Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SW - SM SW - SC SP - SM SP - SC	Arena bien graduada con limo Arena bien graduada con arcilla Arena mal graduada con limo Arena mal graduada con arcilla
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor que 50 Límite Líquido mayor que 50 Límite Líquido 50 o mayor	ML CL	Limo de baja plasticidad Arcilla de baja plasticidad
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido 50 o mayor Límite Líquido secado al horno $< 0.75$ Límite Líquido no secado $< 0.75$	OL MH	Limo orgánico Arcilla orgánica
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> El 50% o más pasa la malla Nº 200 Límite Líquido 50 o mayor	CH	Arcilla de alta plasticidad
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b> Principalmente materia orgánica de color oscuro	OH Pt	Limo orgánico Arcilla orgánica Turba

SP - SM = Arena mal graduada con limo y grava

El Equipo ideal de Compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo es: Tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos, rodillo de pata de cabra



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**  
 -ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

PROFESIONALES EN INGENIERÍA  
 GEOTECNIA Y MATERIALES

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

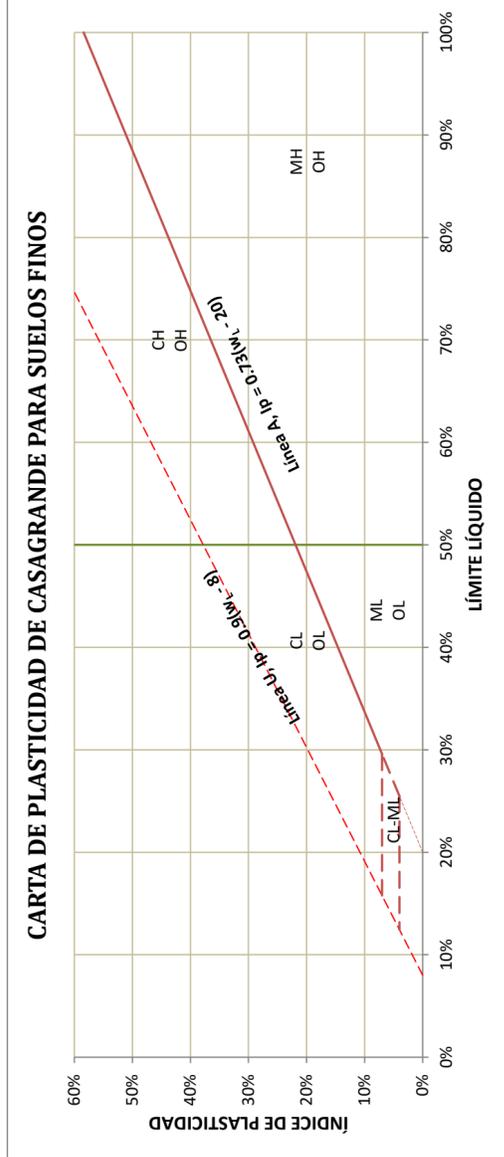
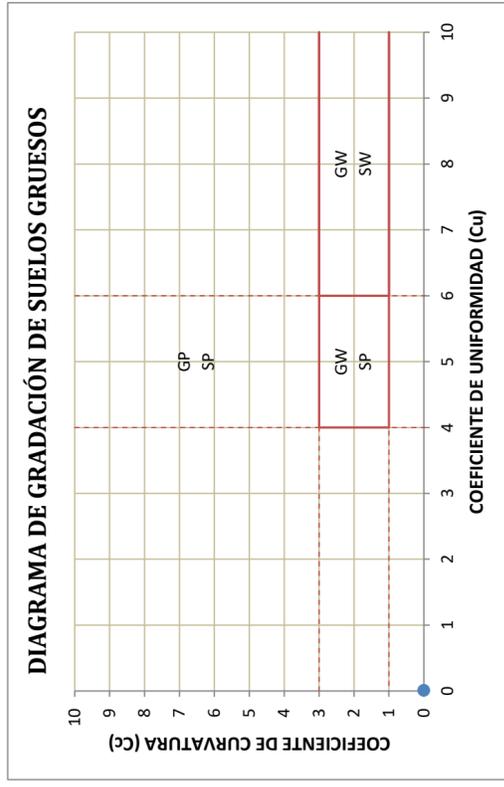
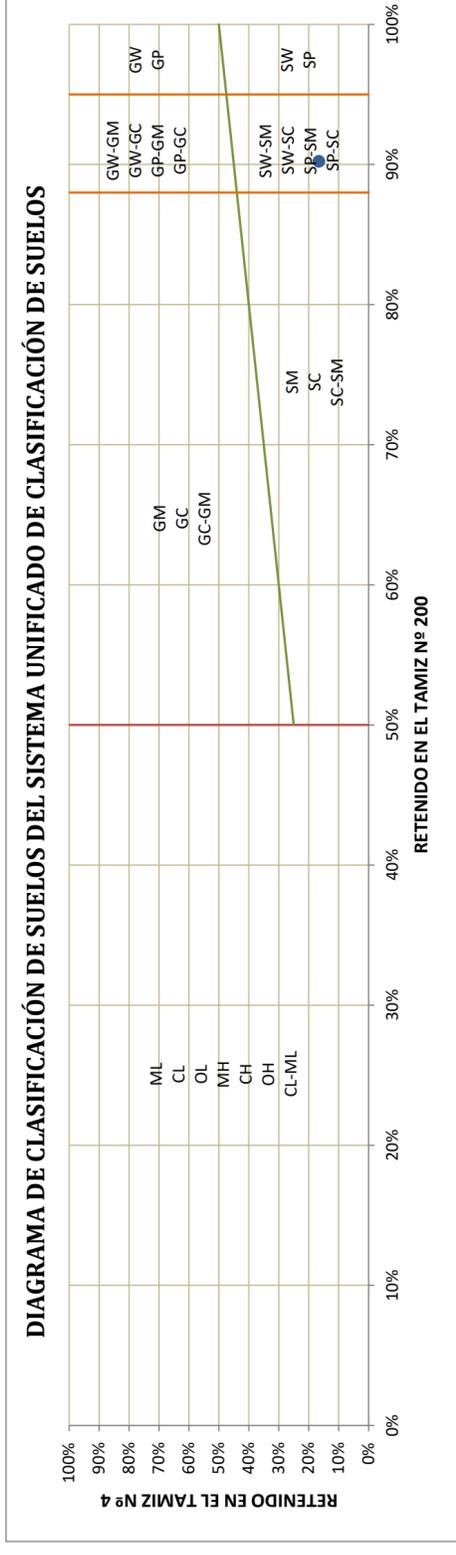
**Descripción:** Arena mal graduada con limo y grava

**Presentación:** -

**Cantidad:** 15 kg aprox.

ASTM D-2487

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)



PRO INGEMA S.AC.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.



-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

**Proyecto de** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado  
**investigación:** Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

**Presentación:** -

**Descripción:** Arena mal graduada con limo y grava

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**DENSIDAD APARENTE**

DATOS DEL MOLDE	
Peso de Molde (gr)	1650
Volumen de molde (cm3)	2770

DENSIDAD MAXIMA	
Molde + Especimen Seco(gr)	6874.00
Especimen Seco (gr)	5224.00
<b>Densidad Seca (gr/cm3)</b>	<b>1.89</b>

DENSIDAD MINIMA	
Molde + Especimen Seco(gr)	5985.00
Especimen Seco (gr)	4335.00
<b>Densidad Seca (gr/cm3)</b>	<b>1.56</b>

DENSIDAD PROMEDIO	
<b>Densidad Seca (gr/cm3)</b>	<b>1.68</b>

<b>Contenido de Humedad</b>	<b>12.28%</b>
-----------------------------	---------------

<b>DENSIDAD NATURAL HUMEDA = 1.88 gr/cm3</b>
--

<b>DENSIDAD NATURAL SECA = 1.68 gr/cm3</b>
--

<b>DENSIDAD SATURADA = 1.96 gr/cm3</b>
--



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

**Presentación:** -

**Descripción:** Arena mal graduada con limo y grava

**Cantidad:** 15 kg aprox.

<b>MTC E 123 - 2016</b>	<b>CORTE DIRECTO-MUESTRA REMOLDEADA</b>
-------------------------	---

DIMENSIONES DE LA MUESTRA	
Diámetro =	50.95 mm
Altura L <sub>0</sub> =	21.60 mm
Área =	20.39 cm <sup>2</sup>
Volumen =	44.04 cm <sup>3</sup>

DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Peso =	82.50 gr
Peso Unitario húmedo =	1.87 gr/cm <sup>3</sup>
Contenido de Humedad =	12.28%
Peso Unitario seco =	1.67 gr/cm <sup>3</sup>

Velocidad de Deformación Horizontal = 0.50 mm/min

DEFORMÍMETRO DE LONGITUD DE CORTE mm	LECTURA DE CARGA HORIZONTAL N			DEFORMÍMETRO DE LONGITUD VERTICAL mm			FUERZA DE CORTE HORIZONTAL kg			ÁREA CORREGIDA A' cm <sup>2</sup>	ESFUERZO CORTANTE τ kg/cm <sup>2</sup>		
	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03	M-01	M-02	M-03		M-01	M-02	M-03
	0.20	25.5	32.1	59.4	-0.002	-0.005	-0.001	2.60	3.27		6.06	20.29	0.13
0.40	40.2	53.5	97.3	-0.020	-0.010	-0.011	4.10	5.46	9.92	20.18	0.20	0.27	0.49
0.60	52.4	71.3	125.0	-0.028	-0.020	-0.020	5.34	7.27	12.75	20.08	0.26	0.36	0.63
0.80	63.7	89.4	145.3	-0.038	-0.031	-0.031	6.50	9.12	14.82	19.98	0.32	0.45	0.73
1.00	71.6	105.1	167.7	-0.040	-0.037	-0.041	7.30	10.72	17.10	19.88	0.36	0.53	0.84
1.50	82.9	138.5	201.1	-0.042	-0.045	-0.075	8.45	14.12	20.51	19.62	0.41	0.69	1.01
2.00	79.0	146.2	206.3	-0.033	-0.049	-0.099	8.06	14.91	21.04	19.37	0.40	0.73	1.03
2.50	71.1	130.1	190.3	-0.022	-0.052	-0.122	7.25	13.27	19.41	19.11	0.36	0.65	0.95
3.00	66.4	118.4	184.5	-0.017	-0.060	-0.143	6.77	12.07	18.81	18.86	0.33	0.59	0.92
3.50	60.1	115.0	180.2	-0.017	-0.066	-0.160	6.13	11.73	18.38	18.61	0.30	0.58	0.90
4.00	61.6	114.7	178.0	-0.017	-0.073	-0.172	6.28	11.70	18.15	18.35	0.31	0.57	0.89
4.50	61.2	110.0	178.5	-0.021	-0.085	-0.186	6.24	11.22	18.20	18.10	0.31	0.55	0.89
5.00	61.6	112.7	180.2	-0.034	-0.095	-0.198	6.28	11.49	18.38	17.84	0.31	0.56	0.90
5.50		115.8	176.4		-0.101	-0.207		11.81	17.99	17.59		0.58	0.88
6.00			170.6			-0.206			17.40	17.34			0.85
6.50			166.2			-0.225			16.95	17.09			0.83



**PRO INGEMA S.A.C.**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES  
 -Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

**Proyecto de investigación:** Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2024

**Ubicación:** C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

**Tesistas:** Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque Gonzalo

**Fecha Recepción:** Cusco, diciembre del 2024

**Finalidad:** Cimentación

**Datos Muestra**

**Identificación:** Calicata "C-07-E1"/MA/Prof.3.00-3.50 m

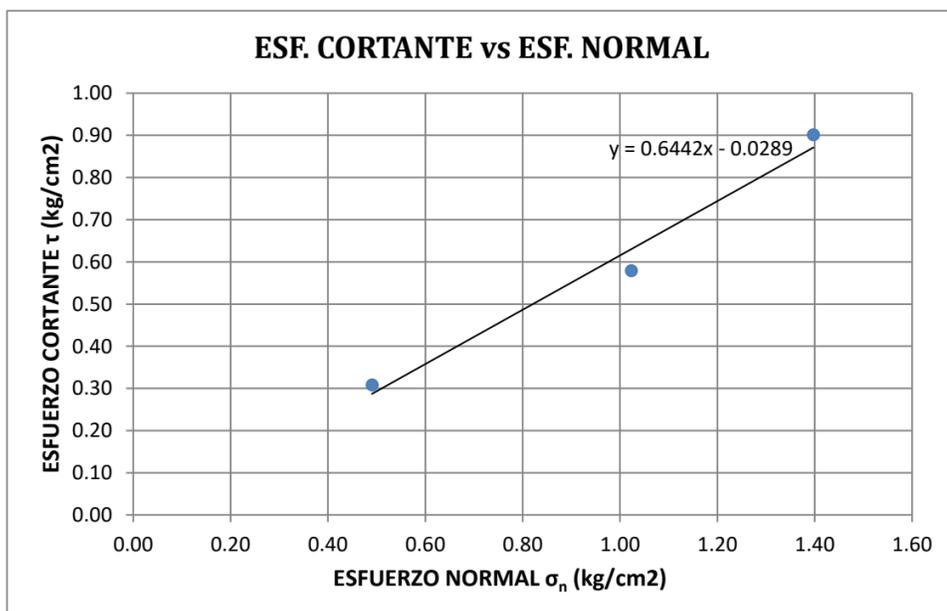
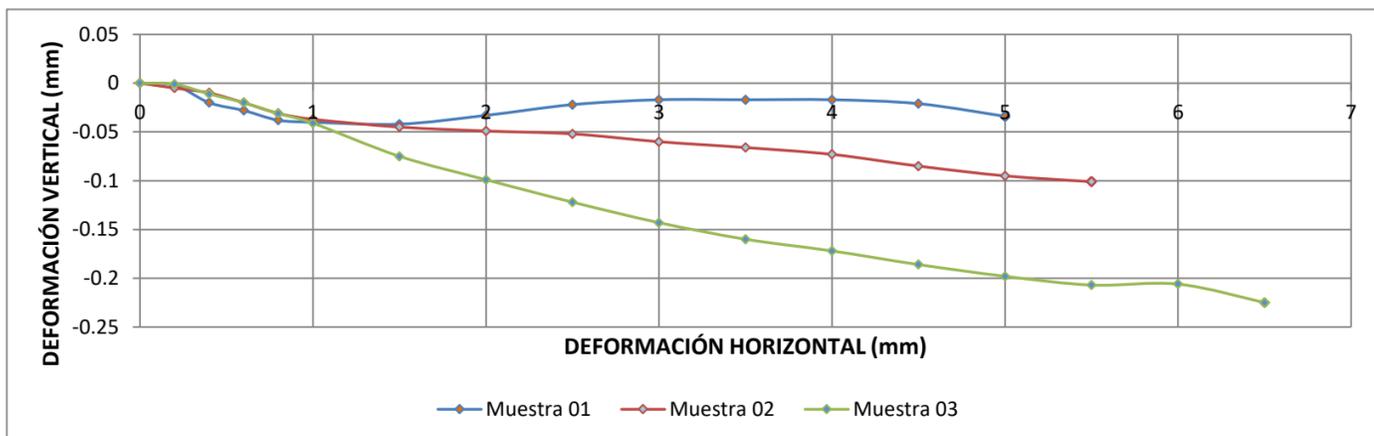
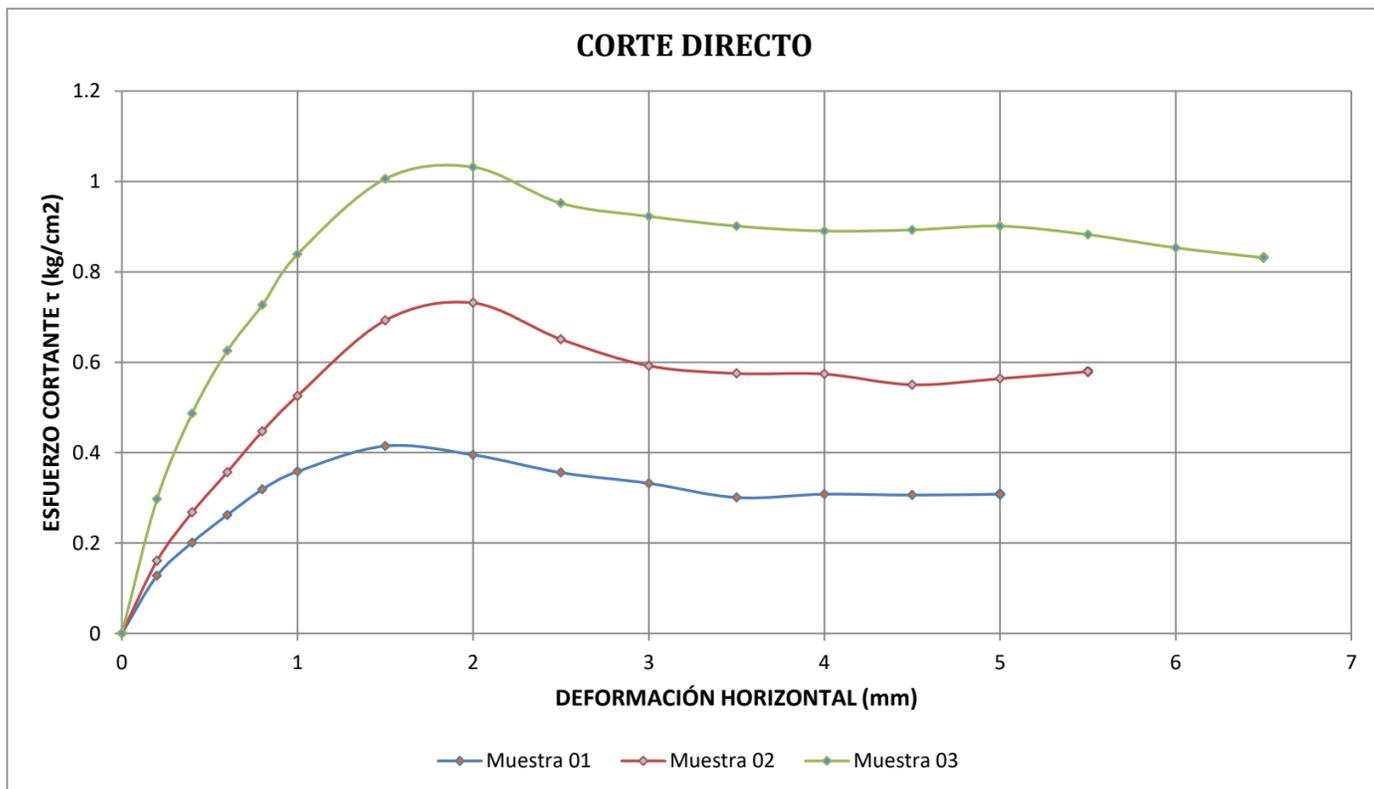
**Presentación:** -

**Descripción:** Arena mal graduada con limo y grava

**Cantidad:** 15 kg aprox.

**MTC E 123 - 2016**

**CORTE DIRECTO-MUESTRA REMOLDEADA**



Muestras	M-01	M-02	M-03
Carga Vertical (kg)	9.00	18.00	26.00
Área en Corte (cm <sup>2</sup> )	18.35	17.59	18.61
σ <sub>n</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	0.49	1.02	1.40
τ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.31	0.58	0.90

**Cohesión = 0.00 kg/cm<sup>2</sup>**  
**Ángulo de fricción interna = 32° 47' 18"**

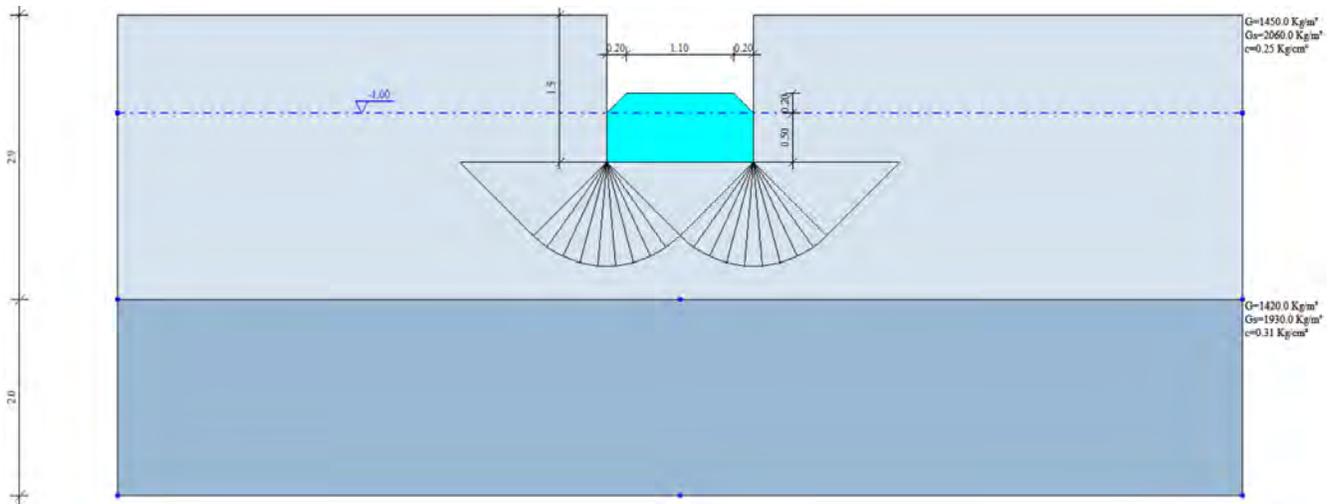
**Cálculo de capacidades admisibles  
y asentamientos**

**CÁLCULO DE CAPACIDAD ADMISIBLE**  
**PROFUNDIDAD 1.50M**

**CALICATA 04**

**DATOS GENERALES**

Normativa	D.M. 88/96
Anchura cimentación	1.5 m
Longitud cimentación	1.5 m
Profundidad plano de cimentación	1.5 m
Altura de empotramiento	1.5 m
Profundidad nivel freático	1.0
Corrección parámetros Terzaghi	



**ESTRATIGRAFÍA TERRENO** **GEOTECNIA Y MATERIALES**

Espesor del estrato [m]	Peso específico [Kg/m³]	Peso específico saturado [Kg/m³]	Ángulo de rozamiento interno [°]	Cohesión [Kg/cm²]	Cohesión sin drenaje [Kg/cm²]	Módulo elástico [Kg/cm²]	Módulo edométrico [Kg/cm²]	Poisson	Coef. consolidación primaria [cmq/s]	Coef. consolidación secundaria	Descripción
2.9	1450.0	2060.0	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Nuevo
2.0	1420.0	1930.0	0.0	0.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Nuevo

**Cargas de proyecto actuantes en cimentación**

Nr.	Nombre combinación	Presión normal de proyecto [Kg/cm²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	0.63	0.48	0.00	222.00	0.00	0.00	0.00	Proyecto

**Sismo + Coef. parciales parámetros geotécnicos terrenos + Resistencias**

Nr	Corrección sísmica	Tangente ángulo de	Cohesión efectiva	Cohesión sin drenaje	Peso específico	Peso específico cobertura	Coef. Red. Cap. de	Coef. Red. Cap. de

		resistencia al corte			en cimentación		carga vertical	carga horizontal
1	No	1	1	1	1	1	3	3

**CARGA ÚLTIMA CIMENTACIÓN COMBINACIÓN...0.63**

Autor: MEYERHOF (1963)

Carga última [Qult]	1.44 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia de proyecto[Rd]	0.48 Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión [Ed]	0.48 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	3.0
Condición de comprobación [Ed<=Rd]	Comprobado

**COEFICIENTE DE ASENTAMIENTO BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 0.58 Kg/cm<sup>3</sup>

**0.63**

Autor: MEYERHOF (1963) (Condición drenada)

Factor [Nq]	1.0
Factor [Nc]	5.14
Factor forma [Sc]	1.2
Factor profundidad [Dc]	1.2
Factor inclinación cargas [Ic]	1.0
Factor forma [Sq]	1.0
Factor profundidad [Dq]	1.0
Factor inclinación cargas [Iq]	1.0
Factor forma [Sg]	1.0
Factor profundidad [Dg]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zq]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zg]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zc]	1.0

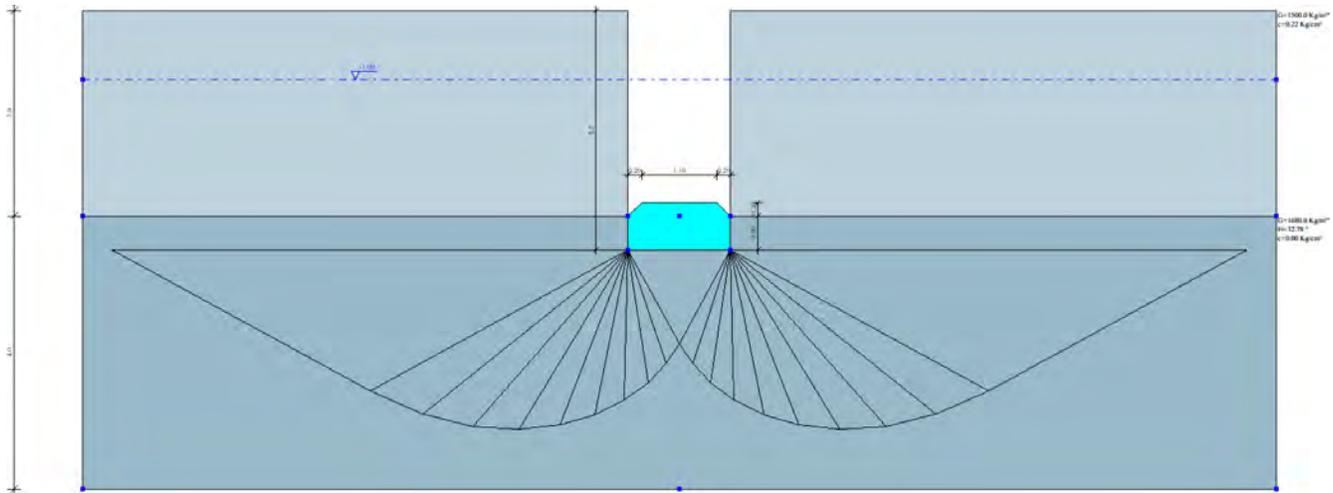
Carga última	1.44 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia de proyecto	0.48 Kg/cm <sup>2</sup>

**CÁLCULO DE CAPACIDAD ADMISIBLE**  
**PROFUNDIDAD 3.50M**

**CALICATA 07**

**DATOS GENERALES**

Normativa	D.M. 88/96
Anchura cimentación	1.5 m
Longitud cimentación	1.5 m
Profundidad plano de cimentación	3.5 m
Altura de empotramiento	3.5 m
Profundidad nivel freático	1.0
Corrección parámetros Terzaghi	



**GEOTECNIA Y MATERIALES**

**ESTRATIGRAFÍA TERRENO**

Espesor del estrato [m]	Peso específico [Kg/m <sup>3</sup> ]	Peso específico saturado [Kg/m <sup>3</sup> ]	Ángulo de rozamiento interno [°]	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Cohesión sin drenaje [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Módulo elástico [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Módulo edométrico [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Poisson	Coef. consolidación primaria [cmq/s]	Coef. consolidación secundaria	Descripción
3.0	1500.0	1960.0	0.0	0.22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Nuevo
4.0	1680.0	1960.0	32.78	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Nuevo

**Cargas de proyecto actuantes en cimentación**

Nr.	Nombre combinación	Presión normal de proyecto [Kg/cm <sup>2</sup> ]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	0.63	2.15	0.00	222.00	0.00	0.00	0.00	Proyecto

Sismo + Coef. parciales parámetros geotécnicos terrenos + Resistencias

Nr	Corrección sísmica	Tangente ángulo de resistencia al corte	Cohesión efectiva	Cohesión sin drenaje	Peso específico en cimentación	Peso específico cobertura	Coef. Red. Cap. de carga vertical	Coef. Red. Cap. de carga horizontal
1	No	1	1	1	1	1	3	3

**CARGA ÚLTIMA CIMENTACIÓN COMBINACIÓN...0.63**

Autor: MEYERHOF (1963)

Carga última [Qult]	6.45 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia de proyecto[Rd]	2.15 Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión [Ed]	2.15 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	3.0
Condición de comprobación [Ed<=Rd]	Comprobado

**COEFICIENTE DE ASENTAMIENTO BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 2.58 Kg/cm<sup>3</sup>

**0.63**

Autor: MEYERHOF (1963) (Condición drenada)

Factor [Nq]	8.97
Factor [Nc]	18.47
Factor [Ng]	5.11
Factor forma [Sc]	1.46
Factor profundidad [Dc]	1.71
Factor inclinación cargas [Ic]	1.0
Factor forma [Sq]	1.23
Factor profundidad [Dq]	1.35
Factor inclinación cargas [Iq]	1.0
Factor forma [Sg]	1.23
Factor profundidad [Dg]	1.35
Factor inclinación cargas [Ig]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zq]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zg]	1.0
Factor corrección sísmico inercial [zc]	1.0

Carga última	6.45 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia de proyecto	2.15 Kg/cm <sup>2</sup>



**PRO INGENIA S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

Proyecto: Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2025

Ubicación: C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco  
Solicita: Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque

Fecha Recepción: Cusco, Julio del 2025

Calicata: C-04

**CORRECCION DE CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO ELASTICO Y EDOMETRICO**

ASENTAMIENTOS ELASTICOS

$$S_e = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1})\sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$I_f = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \text{and } \frac{L}{B}\right)$$

Datos para asentamientos elasticos	
$S_e$	Asentamiento elastico
$\Delta\sigma$	presión neta aplicada sobre la cimentación (kg/cm2)
$B'$	$B'/2$ para el centro de la cimentacion (m)
$I_s, I_f$	factores de influencia
$H$	espesor del estrato desde superf. (m)
$E$	Modulo de elasticidad (kg/cm2):
$\mu$	Relacion de Poisson
$\alpha$	factor de ubicación en la cimentación para asentamiento
$\alpha = 4$	

Estratos	Clasificación	u	E	Espesor
			kg/cm2	m
E2	CL ML	0.33	137.9	2.9
E1	CL	0.33	66.1	3.1

ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACION

NC: Normalmente consolidado

$$S = \frac{c_c}{1 + e_0} \cdot H_0 \cdot \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o}\right)$$

OC: Sobre consolidado

$$S = \frac{H_0}{1 + e_0} \left[ c_c \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_c}\right) + c_e \log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_o}\right) \right]$$

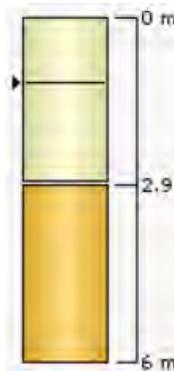
Carga de la edificación por nivel y disipacion de la misma	
N° de pisos:	3
Area de influencia (m2):	20.00
Esfuerzo por piso (tn/m2)	1.00
Carga de estructura (tn)	60.00
Profundidad de disipacion de carga hasta el 10%:	6.0 m

Datos para asentamientos edometricos	
$\sigma_c$ [kg/cm2]	Esfuerzo de preconsolidacion
$\sigma'$ o $\sigma_o$ [kg/cm2]	Esfuerzo efectivo
$C_c$	Indice de compresion
$C_e$	Indices de Recompression
$e_0$	relacion de vacios
$H_0$ [m]	Altura inicial de estrato

Groundwater Analysis

Water Unit Weight: 1.0003 t/m3

Depth to water table: 1 m



Zapata Cuadrada	Carga de estructura de 1 nivel	
	Area (cm2)	$\Delta\sigma$ (kg/cm2)
B(m) x L(m)		
1.00 x 1.00	10000	6.00
1.25 x 1.25	15625	3.84
1.50 x 1.50	22500	2.67
1.75 x 1.75	30625	1.96
2.00 x 2.00	40000	1.50
2.25 x 2.25	50625	1.19
2.50 x 2.50	62500	0.96
2.75 x 2.75	75625	0.79
3.00 x 3.00	90000	0.67

Name: ML Color: Yellow Hatch: Black

Unit Weight (t/m3): 1.45 Sat. Unit Wt. (t/m3): 2.06 Poisson Ratio: 0.33

Immediate Settlement

Primary Consolidation

Material Type: Non-Linear

$C_c$ : 0.04219  $P_c$  (t/m2): 4.1

$C_r$ : 0.00766  $OCR$ : 1

$e_0$ : 0.51  $DCM$  (t/m2): 0

Name: CL Color: Yellow Hatch: Black

Unit Weight (t/m3): 1.42 Sat. Unit Wt. (t/m3): 1.93 Poisson Ratio: 0.33

Immediate Settlement

Primary Consolidation

Material Type: Non-Linear

$C_c$ : 0.1048  $P_c$  (t/m2): 7.1

$C_r$ : 0.0256  $OCR$ : 1

$e_0$ : 0.75  $DCM$  (t/m2): 0



**PRO INGENIA S.A.C.**

**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES**

**-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457**

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

Proyecto: Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2025

Ubicación: C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

Solicita: Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque

Fecha Recepción: Cusco, Julio del 2025

Calicata: C-04

**CORRECCION DE CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO ELASTICO Y EDOMETRICO**

Df (m)	Qult(Capacidad Ultima) kg/cm2								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.50	B=L=1.75	B=L=2.00	B=L=2.25	B=L=2.50	B=L=2.75	B=L=3.00
1.50	1.54	1.48	1.44	1.41	1.39	1.37	1.36	1.34	1.35
2.00	1.70	1.61	1.56	1.52	1.52	1.53	1.53	1.53	1.53
2.50	1.93	1.88	1.84	1.81	1.78	1.76	1.75	1.73	1.72
3.00	2.41	2.25	2.15	2.08	2.02	1.98	1.94	1.92	1.89
3.50	2.58	2.40	2.28	2.20	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98

Df (m)	Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2 sin corregir								
	B=L=1.00	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45
2.00	0.57	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2.50	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
3.00	0.80	0.75	0.72	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
3.50	0.86	0.80	0.76	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66

Df (m)	Asentamiento centro (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	3.47	2.95	2.55	2.25	2.00	1.79	1.62	1.48	1.36
2.00	3.08	2.66	2.33	2.07	1.85	1.68	1.52	1.40	1.28
2.50	2.77	2.42	2.15	1.92	1.73	1.57	1.44	1.32	1.22
3.00	2.52	2.23	1.99	1.79	1.62	1.48	1.36	1.25	1.16
3.50	2.31	2.06	1.85	1.68	1.53	1.40	1.29	1.19	1.11

Df (m)	Asentamiento por consolidacion (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	6.40	5.82	5.27	4.74	4.24	3.79	3.34	2.91	2.57
2.00	6.96	6.33	5.73	5.15	4.60	4.11	3.62	3.16	2.78
2.50	7.90	7.11	6.37	5.67	5.03	4.45	3.89	3.38	2.97
3.00	8.79	7.77	6.86	6.04	5.30	4.65	4.04	3.48	3.04
3.50	8.29	7.31	6.45	5.67	4.97	4.37	3.80	3.30	2.89

Df (m)	Asentamiento Total (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	9.87	8.76	7.82	6.98	6.24	5.59	4.96	4.39	3.92
2.00	10.04	8.99	8.06	7.22	6.46	5.79	5.14	4.55	4.07
2.50	10.67	9.53	8.52	7.59	6.76	6.03	5.33	4.70	4.19
3.00	11.32	10.00	8.85	7.82	6.92	6.13	5.39	4.74	4.20
3.50	10.60	9.37	8.29	7.34	6.50	5.77	5.09	4.49	4.00

Df (m)	Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2 verificado por asentamiento inmediato y consolidacion								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45
2.00	0.57	0.54	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
2.50	0.64	0.63	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57
3.00	0.80	0.75	0.72	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63
3.50	0.86	0.80	0.76	0.73	0.71	0.69	0.68	0.67	0.66

Df (m)	Asentamiento para Qadm verificado (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	1.28	1.54	1.79	2.00	2.19	2.40	2.53	2.71	2.87
2.00	1.25	1.46	1.66	1.87	2.08	2.29	2.50	2.71	2.95
2.50	1.55	1.62	2.19	2.49	2.76	3.09	3.39	3.74	3.96
3.00	2.57	2.89	3.21	3.50	3.82	4.14	4.41	4.63	4.81
3.50	2.57	3.12	3.25	3.77	4.04	4.24	4.45	4.62	4.75



**PRO INGENIA S.A.C.**

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.

-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES

-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

Proyecto: Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2025

Ubicación: C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco  
Solicita: Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque

Fecha Recepción: Cusco, Julio del 2025

Calicata: C-07

**CORRECCION DE CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO ELASTICO Y EDOMETRICO**

ASENTAMIENTOS ELASTICOS

$$S_e = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1)$$

$$F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1})\sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2$$

$$A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$I_f = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \text{ and } \frac{L}{B}\right)$$

Datos para asentamientos elasticos	
S <sub>e</sub>	Asentamiento elastico
Δσ	presión neta aplicada sobre la cimentación (kg/cm <sup>2</sup> )
B'	=B/2 para el centro de la cimentacion (m)
I <sub>s</sub> , I <sub>f</sub>	factores de influencia
H	espesor del estrato desde superf. (m)
E	Modulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> ):
u	Relacion de Poisson
α	factor de ubicación en la cimentación para asentamiento
α	= 4

Estratos	Clasificación	u	E kg/cm <sup>2</sup>	Espesor m
E2	ML	0.32	137.9	3
E1	SP-SM	0.30	250	3

ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACION

NC: Normalmente consolidado

$$S = \frac{c_c}{1 + e_o} \cdot H_o \cdot \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o}\right)$$

OC: Sobre consolidado

$$S = \frac{H_o}{1 + e_o} \left[ c_c \log\left(\frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_c}\right) + c_e \log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_o}\right) \right]$$

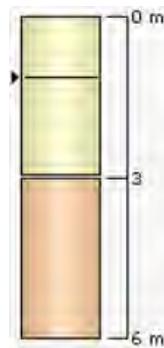
Carga de la edificación por nivel y disipacion de la misma	
N° de pisos:	3
Area de influencia (m <sup>2</sup> ):	20.00
Esfuerzo por piso (tn/m <sup>2</sup> ):	1.00
Carga de estructura (tn)	60.00
Profundidad de disipacion de carga hasta el 10%:	6.0 m

Datos para asentamientos edometricos	
σ <sub>c</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo de preconsolidacion
σ' o σ <sub>o</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo efectivo
C <sub>c</sub>	Indice de compresion
C <sub>e</sub>	Indices de Recompression
e <sub>o</sub>	relacion de vacios
H <sub>o</sub> [m]	Altura inicial de estrato

Groundwater Analysis

Water Unit Weight: 1.0003 t/m<sup>3</sup>

Depth to water table: 1 m



Zapata Cuadrada	Carga de estructura de 1 nivel 60000.00 kg	
B(m) x L(m)	Area (cm <sup>2</sup> )	Δσ (kg/cm <sup>2</sup> )
1.00 x 1.00	10000	6.00
1.25 x 1.25	15625	3.84
1.50 x 1.50	22500	2.67
1.75 x 1.75	30625	1.96
2.00 x 2.00	40000	1.50
2.25 x 2.25	50625	1.19
2.50 x 2.50	62500	0.96
2.75 x 2.75	75625	0.79
3.00 x 3.00	90000	0.67

Name: ML Color: Yellow Hatch: Black

Unit Weight (t/m<sup>3</sup>): 1.5 Sat. Unit Wt. (t/m<sup>3</sup>): 1.96 Poisson Ratio: 0.32

Immediate Settlement

Primary Consolidation

Material Type: Non-Linear

C<sub>c</sub>: 0.04219 P<sub>c</sub> (t/m<sup>2</sup>): 4.1

C<sub>r</sub>: 0.00766 O<sub>CR</sub>: 1

e<sub>o</sub>: 0.51 O<sub>CM</sub> (t/m<sup>2</sup>): 0

Name: SP-SM Color: Orange Hatch: Black

Unit Weight (t/m<sup>3</sup>): 1.68 Sat. Unit Wt. (t/m<sup>3</sup>): 1.96 Poisson Ratio: 0.3

Immediate Settlement

Primary Consolidation

Material Type: Non-Linear

E<sub>s</sub> (t/m<sup>2</sup>): 2500 E<sub>sur</sub> (t/m<sup>2</sup>): 2500

e<sub>o</sub>: 0.3 P<sub>c</sub> (t/m<sup>2</sup>): 10.2

u<sub>o</sub>: 0.1 O<sub>CR</sub>: 1

e<sub>u</sub>: 1.1 O<sub>CM</sub> (t/m<sup>2</sup>): 0



**PRO INGENIA S.A.C.**

**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y MATERIALES. CONTROL DE CALIDAD Y ASISTENCIA TÉCNICA.**

**-ESTUDIO DE INGENIERÍA, CONSULTORÍA, SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS CIVILES**

**-Cusco: A.p.v San Antonio G-3-B-San Sebastián- Cusco, Cel. Movistar: 974260151, Claro: 967711457**

**DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA**

Proyecto: Estudio Geológico Y Geotécnico De Los Suelos Superficiales De Fundación Del Centro Poblado Huacarpay Para Su Zonificación Geotécnica, Lucre – Quispicanchi – Cusco, 2025

Ubicación: C.P. Huacarpay - Quispicanchi - Cusco

Solicita: Henry Quispe Mamani y Roly Aymachoque

Fecha Recepción: Cusco, Julio del 2025

Calicata: C-07

**CORRECCION DE CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO ELASTICO Y EDOMETRICO**

Df (m)	Qult(Capacidad Ultima) kg/cm2								
	B=L=1.00	B=L=1.25	B=L=1.50	B=L=1.75	B=L=2.00	B=L=2.25	B=L=2.50	B=L=2.75	B=L=3.00
1.50	1.38	1.33	1.29	1.26	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20
2.00	1.52	1.45	1.40	1.36	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28
2.50	1.66	1.57	1.51	1.46	1.43	1.41	1.38	1.37	1.35
3.00	5.94	5.67	5.52	5.43	5.38	5.36	5.36	5.37	5.40
3.50	7.06	6.68	6.45	6.31	6.22	6.17	6.14	6.13	6.14

Df (m)	Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2 sin corregir								
	B=L=1.00	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40
2.00	0.51	0.48	0.47	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43
2.50	0.55	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45
3.00	1.98	1.89	1.84	1.81	1.79	1.79	1.79	1.79	1.80
3.50	2.35	2.23	2.15	2.10	2.07	2.06	2.05	2.04	2.05

Df (m)	Asentamiento centro (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	1.83	1.56	1.35	1.19	1.05	0.95	0.86	0.78	0.72
2.00	1.63	1.40	1.23	1.09	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68
2.50	1.46	1.28	1.13	1.01	0.91	0.83	0.76	0.70	0.64
3.00	1.33	1.17	1.05	0.94	0.86	0.78	0.72	0.66	0.61
3.50	1.22	1.09	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68	0.63	0.59

Df (m)	Asentamiento por consolidacion (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	4.01	3.56	3.17	2.81	2.50	2.22	1.96	1.73	1.54
2.00	3.71	3.30	2.93	2.60	2.31	2.06	1.83	1.63	1.47
2.50	2.94	2.53	2.19	1.91	1.67	1.47	1.30	1.15	1.03
3.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

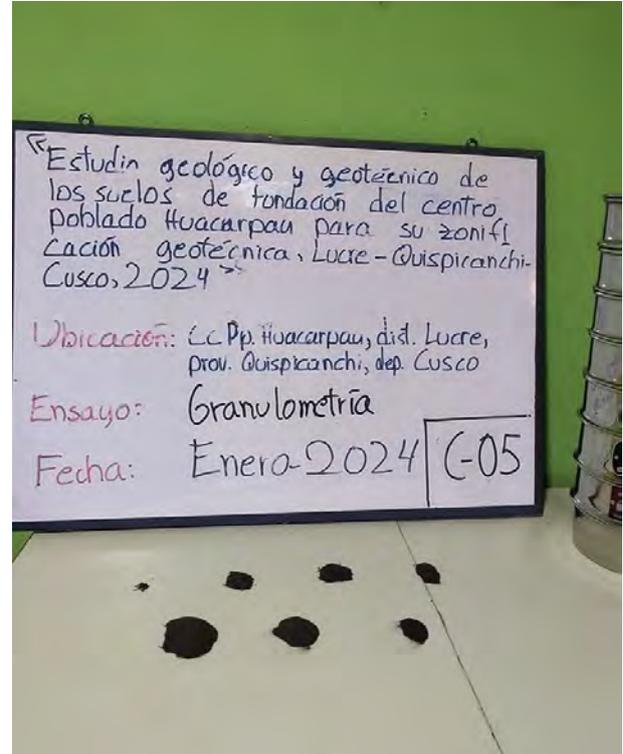
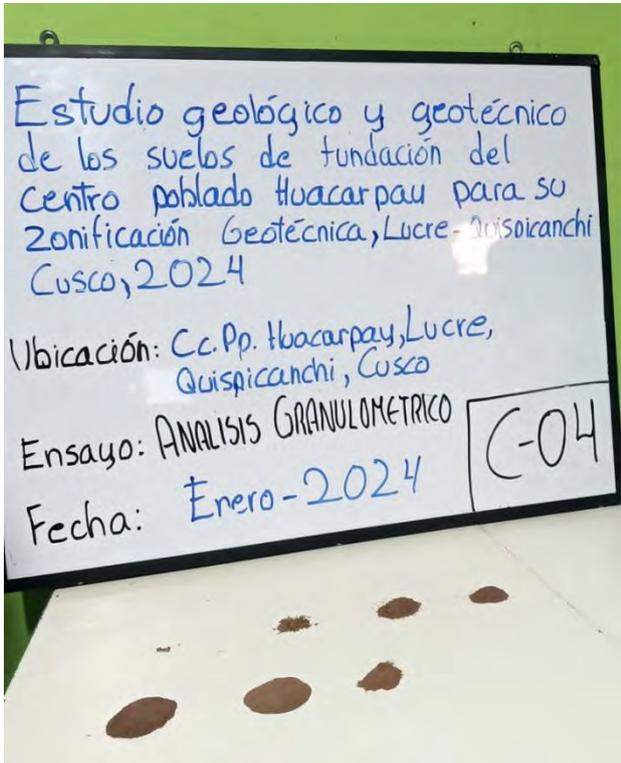
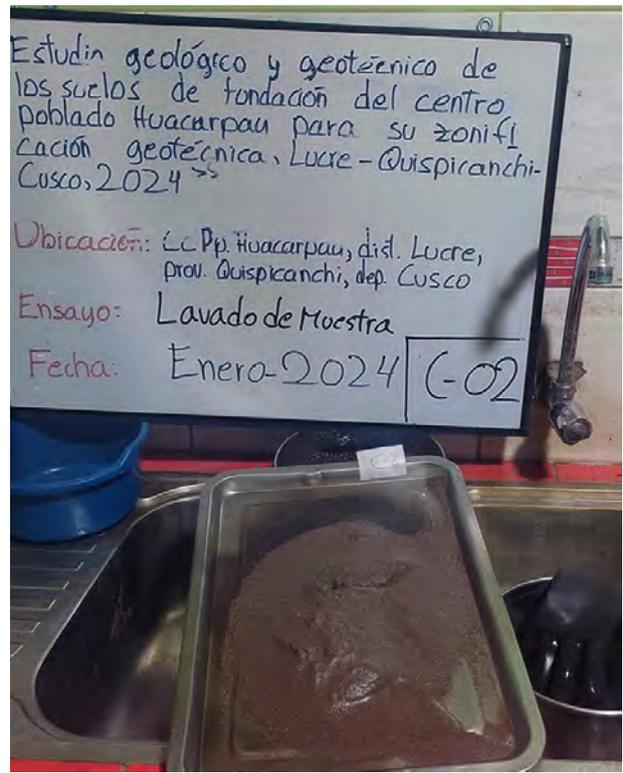
Df (m)	Asentamiento Total (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	5.84	5.12	4.52	4.00	3.55	3.17	2.82	2.51	2.26
2.00	5.34	4.70	4.16	3.69	3.29	2.95	2.64	2.37	2.14
2.50	4.41	3.81	3.33	2.92	2.58	2.30	2.06	1.85	1.67
3.00	1.34	1.18	1.05	0.94	0.86	0.78	0.72	0.66	0.61
3.50	1.22	1.09	0.98	0.88	0.81	0.74	0.68	0.63	0.59

Df (m)	Qadm(Capacidad Admisible) kg/cm2 verificado por asentamiento inmediato y consolidacion								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	0.46	0.44	0.43	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40
2.00	0.51	0.48	0.47	0.45	0.45	0.44	0.43	0.43	0.43
2.50	0.55	0.52	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.46	0.45
3.00	1.98	1.89	1.84	1.81	1.79	1.79	1.79	1.79	1.80
3.50	2.35	2.23	2.15	2.10	2.07	2.06	2.05	2.04	2.05

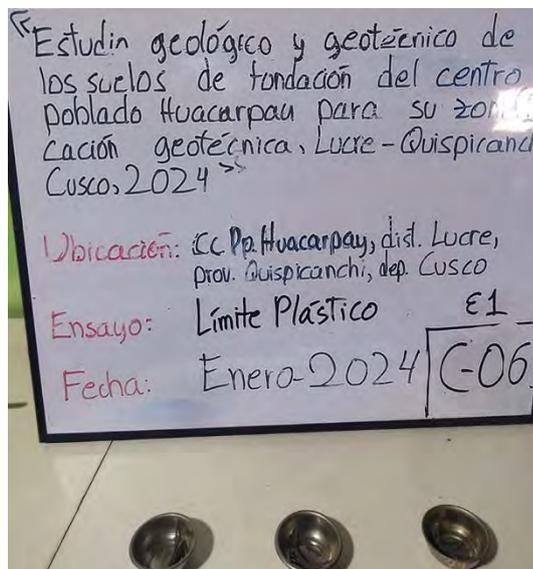
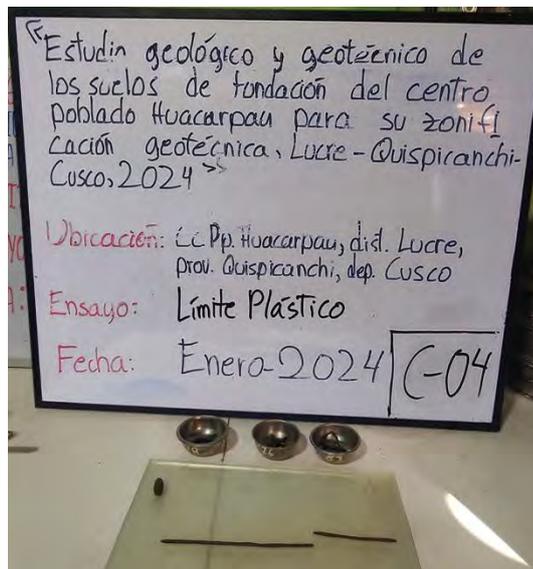
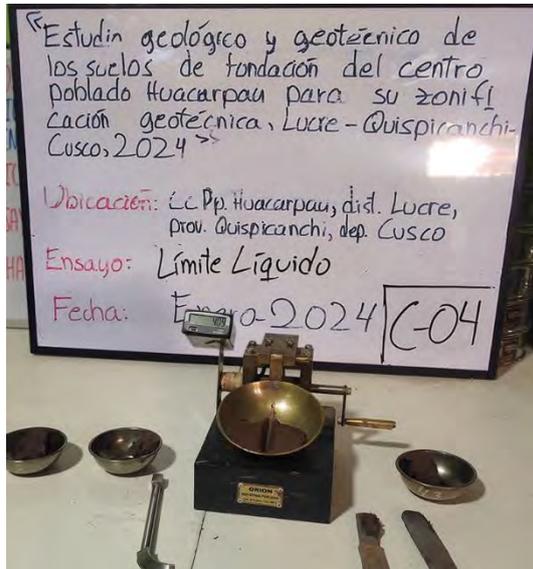
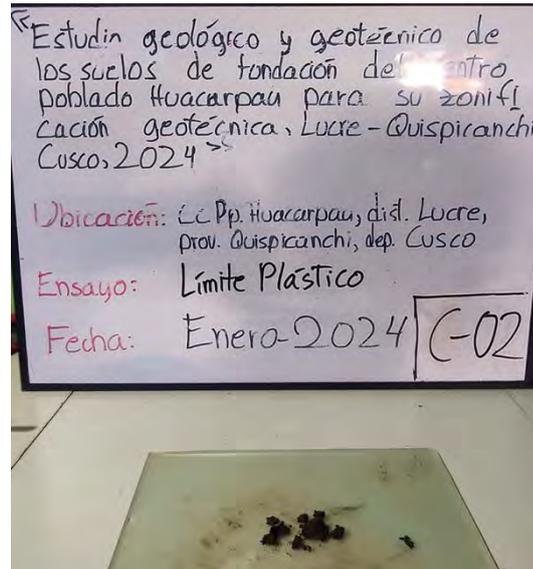
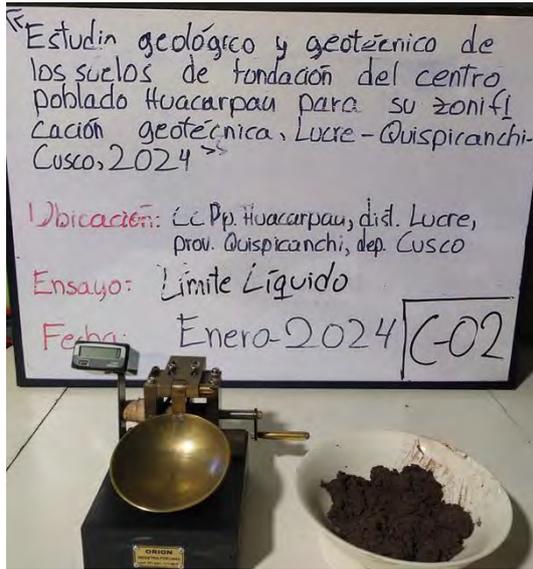
Df (m)	Asentamiento para Qadm verificado (cm)								
	B=L=1.0 m	B=L=1.25 m	B=L=1.5 m	B=L=1.75 m	B=L=2.0 m	B=L=2.25 m	B=L=2.5 m	B=L=2.75 m	B=L=3.0 m
1.50	0.61	0.72	0.81	0.88	0.93	1.00	1.05	1.07	1.11
2.00	0.69	0.75	0.81	0.84	0.89	0.91	0.92	0.95	0.98
2.50	0.56	0.59	0.62	0.64	0.68	0.68	0.69	0.72	0.72
3.00	2.22	1.96	1.75	1.57	1.43	1.30	1.20	1.10	1.02
3.50	2.03	1.81	1.63	1.47	1.34	1.23	1.14	1.05	0.98

## **Fotos**

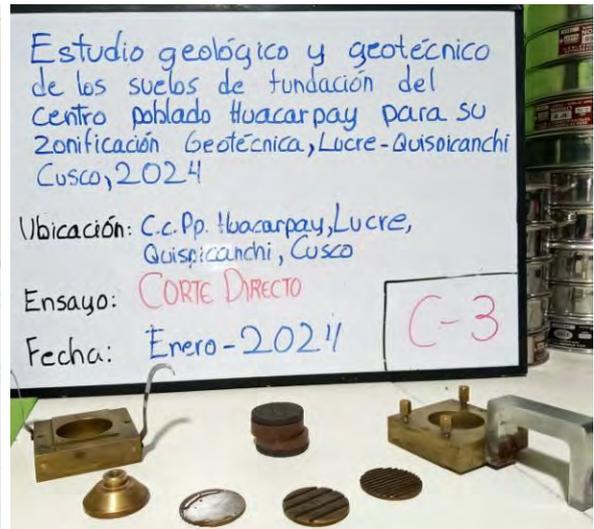
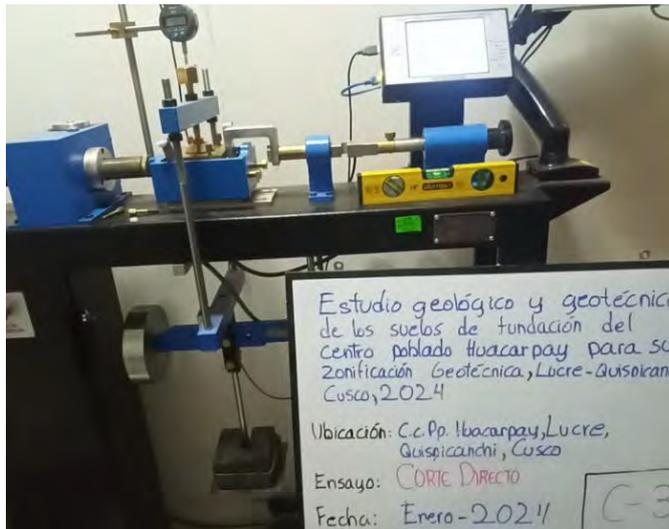
# ENSAYOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO



# ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA



# ENSAYOS DE CORTE DIRECTO



# ENSAYOS DE CONSOLIDACION

