

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES
CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA
MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN KODAY CHAMBI SUXO

Para optar el Título de Profesional de:

INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

HOJA DE JURADO

TESIS

“EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L’ LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA”

Presentado por el bachiller Edwin Koday Chambi Suxo

Para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo – Geotécnico

Tesis sustentada y aprobada el 24 de diciembre de 2025 (R.F. N°735-2025-FIAG/UNJBG)

Con el siguiente jurado:

Presidente


:.....
M.Sc. Ing. Gina Macklina Chambi Tapahuasco

Miembro - Secretario


:.....
Ing. Miguel Angel Banda Flores

Miembro – Vocal:


:.....
Ing. Tony Brady Canqui Anquise

Asesor de Tesis:


:.....
Mgr. Ing. Fredy Cleto Cabrera Olivera

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Fredy Cleto Cabrera Olivera en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°777-2024-FIAG/UNJBG del Trabajo de la Tesis, titulado: "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA – TACNA", presentado por el Bachiller EDWIN KODAY CHAMBI SUXO para optar el título profesional en Ingeniería Geológica– Geotecnia.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 10 % Por lo que, CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional Ingeniero Geólogo- Geotécnico, según corresponda para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 07 de octubre del 2025



Docente Asesor de Tesis
Fredy Cleto Cabrera Olivera
DNI N°29293902





Firma del autor
Edwin Koday Chambi Suxo
DNI N°45680072



Dedicatoria

A Dios, fuente infinita de luz y sabiduría, que en su misterio oculto guía cada paso y sostiene el alma en el camino del conocimiento.

A mi madre y a mi padre, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos, su fe constante en mí y sus enseñanzas que han sido la base sólida de mi formación. A mis hermanos, por su compañía, sus bromas y su apoyo cuando más lo necesitaba. A toda mi familia, por estar siempre ahí, con palabras de aliento, llamadas inesperadas y abrazos sinceros.

Agradecimiento

A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por haber sido mucho más que un lugar de estudio: por ser el espacio donde crecí como profesional y como persona. A todos los docentes que compartieron su conocimiento con pasión y entrega, gracias por dejar una huella que va más allá de lo académico.

A mi asesor de tesis, el Mgr. Ing. Fredy Cabrera Olivera, por su paciencia, sus observaciones puntuales y por enseñarme, más allá del contenido, el valor del rigor técnico. Agradezco también al Ing. Edgar Christian Tisnado Valdivia y a Gonzalo Mamani Flores, por el valioso apoyo brindado en la realización de los ensayos técnicos en el laboratorio de mecánica de suelos, cuya colaboración fue fundamental para el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, a todas las personas queridas que, de una u otra manera, estuvieron presentes en este proceso: los que me escucharon cuando dudé, los que me animaron cuando pensé en rendirme, los que creyeron en mí incluso en los días en que yo no lo hacía. Gracias por ser parte de mi historia.

Índice

Portada.....	i
Hoja de jurados	ii
Certificado de similitud.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice.....	vi
Índice de tablas.....	xiii
Índice de figuras	xvi
Índice de fotografías.....	xix
Resumen.....	xxi
Abstract	xxiii
Introducción	xxv
Capítulo I: Generalidades.....	1
1.1. Ubicación del área de estudio	1
1.2. Accesibilidad al área de estudio.....	2
Capítulo II: Problema de la investigación.....	4
2.1. Planteamiento y formulación del problema	4

2.1.1.	Problema general.....	5
2.1.2.	Problemas específicos.....	5
2.2.	Objetivos.....	6
2.2.1.	Objetivo general.....	6
2.2.2.	Objetivos específicos.....	6
2.3.	Justificación de la investigación.....	7
2.4.	Hipótesis.....	8
2.4.1.	Hipótesis general.....	8
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	8
2.5.	Descripción de las variables.....	9
2.5.1.	Caracterización de las variables.....	9
2.5.1.1.	Variables independientes.....	9
2.5.1.2.	Variables dependientes.....	10
2.5.2.	Definición operacional de las variables.....	10
2.6.	Alcances y limitaciones.....	10
2.6.1.	Alcances.....	10
2.6.2.	Limitaciones.....	11
	Capítulo III: Marco teórico.....	12

3.1. Antecedentes	12
3.2. Bases teóricas	15
3.2.1. Teoría sobre las tobas volcánicas	15
3.2.1.1. Depósitos de origen volcánico	16
3.2.1.2. Piroclastos	17
3.2.1.3. Clasificación de los piroclásticos.....	18
3.2.2. Conceptos de los depósitos tecnógenos.....	21
3.2.2.1. Rellenos artificiales - Por el material que lo constituye.	22
3.2.2.2. Rellenos artificiales - Por las condiciones bajo las que son colocadas.	22
3.2.3. Conceptos fundamentales sobre suelos colapsables.....	25
3.2.3.1. Descripción y características de los suelos colapsables.....	25
3.2.3.2. Tipo de suelos colapsables.....	27
3.2.3.3. Evaluación y clasificación de suelos colapsables.....	29
3.2.3.4. Clasificación de suelos colapsables	32
3.2.4. Sistemas de clasificación de suelos	32
3.2.4.1. Dimensión de las partículas del suelo.....	32
3.2.4.2. Plasticidad.....	34

3.2.4.3. Clasificación de los suelos.....	38
3.2.5. Resistencia al corte	46
3.2.6. Capacidad de carga.....	47
3.2.6.1. Tipos de falla	47
3.2.6.2. Metodología de Terzaghi para determinar la capacidad de carga ...	48
3.2.6.3. Metodología de Meyerhof (1963) para determinar la capacidad de carga.....	51
3.2.6.4. Capacidad de carga admisible	53
3.2.7. Compactación del suelo	54
3.2.7.1. Pruebas de compactación.....	54
3.2.7.2. Factores influyentes en la compactación de suelos.....	56
3.2.8. Normativas y estándares aplicables.....	56
3.3. Definición de términos básicos	59
Capítulo IV: Metodología de la investigación	62
4.1. Tipo y alcance de la investigación	62
4.1.1. Tipo de investigación	62
4.1.2. Nivel de investigación	62
4.1.3. Diseño de investigación.....	63

4.2. Población y muestra	63
4.2.1. Población	63
4.2.2. Muestra	63
4.3. Etapas de la investigación	64
4.3.1. Trabajos de pre campo.....	64
4.3.2. Trabajo de campo	65
4.3.3. Ensayos de laboratorio	68
4.3.4. Trabajo de gabinete	72
4.4. Material a utilizar	73
4.4.1. Material de campo	73
4.4.2. Información geográfica y elaboración de planos.....	74
Capítulo V: Evaluación geológica – geotécnica en suelos de ceniza volcánica potencialmente colapsables.....	75
5.1. Aspectos climatológicos.....	75
5.1.1. Temperatura.....	76
5.1.2. Humedad relativa	78
5.1.3. Precipitación	79
5.2. Marco geomorfológico.....	82

5.2.1. Geomorfología regional	82
5.2.2. Geomorfología local.....	86
5.3. Marco geológico.....	91
5.3.1. Geología regional	91
5.3.2. Geología local.....	96
5.4. Aspecto geotécnico	101
5.4.1. Caracterización de suelos (Ceniza volcánica)	101
5.4.1.1. Reconocimiento y ensayo in situ	102
5.4.1.2. Evaluación de propiedades en laboratorio	111
5.4.2. Clasificación geotécnica de suelos	127
5.4.2.1. Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO	127
5.4.3. Capacidad de carga.....	129
Capítulo VI: Discusión de resultados.....	139
6.1. Investigación geotécnica en campo.....	139
6.2. Propiedades físicas.....	141
6.3. Propiedades mecánicas	147
6.4. Evaluación del potencial de colapso	152
6.5. Cimentación	156

6.6. limitaciones de representatividad espacial.....	163
Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones.....	165
7.1. Conclusiones.....	165
7.2. Recomendaciones.....	168
Bibliografía.....	171
Anexos y mapas.....	176

Índice de tablas

Tabla 1 Área de la zona de estudio	1
Tabla 2 Clasificación de materiales piroclásticos según tamaño	19
Tabla 3 Clasificación del índice de colapso I_c	32
Tabla 4 Límites de tamaño de suelos separados	34
Tabla 5 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) – Suelos de grano grueso	40
Tabla 6 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) – Suelos de grano fino	41
Tabla 7 Clasificación de suelos según Índice de Grupo.....	44
Tabla 8 Sistema AASHTO.....	45
Tabla 9 Temperatura máxima media ($^{\circ}\text{C}$).....	76
Tabla 10 Temperatura mínima media ($^{\circ}\text{C}$)	77
Tabla 11 Humedad relativa media	78
Tabla 12 Humedad relativa máxima	79
Tabla 13 Humedad relativa mínima.....	79
Tabla 14 Precipitación total mensual (mm)	81
Tabla 15 Precipitación total anual (mm).....	81
Tabla 16 Ubicación de las calicatas	104
Tabla 17 Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-01 y C-02.....	106
Tabla 18 Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-03, C—04, C-05 y	

C-06.....	107
Tabla 19 Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-07 y T-01a.....	108
Tabla 20 Resultado de la densidad natural in situ de los puntos de muestreo por calicata.....	110
Tabla 21 Propiedades físicas de los suelos por calicata.....	113
Tabla 22 Distribución granulométrica de los suelos por calicata.....	114
Tabla 23 Resultado de los ensayos de la gravedad específica y proctor modificado de los suelos de las calicatas C-04 y T-01a.....	116
Tabla 24 Propiedades mecánicas de los suelos de las calicatas C-03, C-04 y T-01a: Densidad, peso específico, ángulo de fricción y cohesión (in situ y Proctor modificado).....	118
Tabla 25 Propiedades físicas de los suelos por calicata: Densidad seca y límite líquido.....	120
Tabla 26 Parámetros de densidad máxima seca y límite líquido de suelos compactados de la calicata C-04 y T-01a.....	120
Tabla 27 Relación de vacíos para cargas aplicadas, saturación a 2Kg/cm^2 de la muestra C-04.....	124
Tabla 28 Relación de vacíos para cargas aplicadas, saturación a 2Kg/cm^2 de la muestra T-01a.....	124
Tabla 29 Resultado del índice de colapso para 2 Kg/cm^2 de las calicatas C-04 y T-01a.....	126

Tabla 30 Propiedades granulométricas y clasificación SUCS Y AASHTO de los suelos por calicata.	128
Tabla 31 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte general) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a. .	134
Tabla 32 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte local) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	134
Tabla 33 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte general) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a. .	135
Tabla 34 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte local) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	135
Tabla 35 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	136
Tabla 36 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	136
Tabla 37 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1.50 m de profundidad según Terzaghi y Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	160
Tabla 38 Capacidad de carga admisible de los suelos a 1.90 m de profundidad según Terzaghi y Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.	161

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación del área de estudio.....	3
Figura 2: Variación de la relación de vacíos y la presión efectiva para un suelo colapsable.....	27
Figura 3: Criterio para evaluación potencial para suelos colapsables	30
Figura 4: Temperatura media mensual del periodo 2019 - 2023.....	77
Figura 5: Precipitación total mensual del periodo 2019 - 2023.....	80
Figura 6: Precipitación total anual del periodo 2019 - 2023.....	82
Figura 7: Unidades geomorfológicas de la zona de Tacna	86
Figura 8: Criterio de Potencial de colapso de suelos.....	121
Figura 9: Ensayo de colapso a 2 Kg/cm ² de la muestra C-04.....	125
Figura 10: Ensayo de colapso a 2Kg/cm ² de la muestra T-01a	125
Figura 11: Factores de capacidad de carga de Terzaghi. De Kumbhojkar (1993)	132
Figura 12: Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi N ['] c, N ['] q y N ['] γ	133
Figura 13: Gráfica de barras de la comparación de las densidad natural húmeda promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	143
Figura 14: Gráfica de barras de la comparación del límite líquido promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	144
Figura 15: Gráfica de barras de la comparación del índice de plasticidad	

promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	145
Figura 16: Gráfica de barras de la comparación del contenido de humedad promedio para los suelos en la zona de estudio	147
Figura 17: Gráfica de barras de la comparación de la cohesión promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	148
Figura 18: Gráfica de barras de la comparación de la cohesión para los suelos en la zona de estudio	149
Figura 19: Gráfica de barras de la comparación del ángulo de fricción promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	150
Figura 20: Gráfica de barras de la comparación del ángulo de fricción para los suelos en la zona de estudio	151
Figura 21: Gráfica de barras de la comparación del índice de colapsabilidad promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	153
Figura 22: Gráfica del criterio del potencial de colapso aplicado para los suelos en la zona de estudio	154
Figura 23: Gráfica de barras de la comparación del índice de colapsabilidad para los suelos en la zona de estudio	155
Figura 24: Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica.....	157
Figura 25: Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible (método de Terzaghi y Meyerhof) para la profundidad de 1,50 m de los suelos en	

la zona de estudio 162

Figura 26: Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible

(método de Terzaghi y Meyerhof) para la profundidad de 1,90 m de los suelos en

la zona de estudio 163

Índice de fotografías

Fotografía 1: Inspección y reconocimiento de unidades geomorfológicas en campo	65
Fotografía 2: Inspección y reconocimiento del depósito tecnógeno en campo..	66
Fotografía 3: Caracterización del depósito eluvial	66
Fotografía 4: Determinación de la densidad in situ en la calicata C-01	67
Fotografía 5: Determinación granulométrica de la muestra de la calicata C-01 en laboratorio	69
Fotografía 6: Ensayo de corte directo de la muestra de trinchera T-01a.....	70
Fotografía 7: Ensayo de compactación Proctor modificado de la muestra de trinchera T-01a	71
Fotografía 8: Reconocimiento de campo de unidades geomorfológicas locales: Lomadas	87
Fotografía 9: Vista transversal del cauce natural con presencia de relleno artificial.	88
Fotografía 10: Cauce modificado con relleno superficial.	89
Fotografía 11: Vista aérea de la zona de estudio con estructuras completas e incompletas.	90
Fotografía 12: Exposición de las tobas Pachia en la trinchera T-01a.....	98
Fotografía 13: Vista aérea de las tobas Pachia y la trinchera T-01a.....	98
Fotografía 14: Depósito eluvial sobre cauce natural.	99

Fotografía 15: Unidad geológica del depósito tecnógeno.	100
Fotografía 16: Edificación ligera sobre el depósito tecnógeno	101

Resumen

La presente tesis de investigación tuvo como finalidad evaluar las características geológicas – geotécnicas en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asoc. Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna. El estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada, con un nivel descriptivo y exploratorio y un diseño no experimental. El área se caracteriza por la presencia de depósitos tecnógenos y depósitos volcánicos de la formación Pachia. Se realizaron siete calicatas y una trinchera con profundidades entre 1,50 m y 1,93 m. El análisis estratigráfico identificó materiales de relleno y cenizas volcánicas de compacidad moderada y humedad variable, sin presencia de nivel freático y sin reacción al ácido clorhídrico (HCL).

Dada la particularidad de los materiales se consideró necesario complementar las pruebas estándar de laboratorio con ensayos de colapsabilidad, proctor modificado y corte directo. Los índices de colapsabilidad fueron 0,39 % (leve) para la ceniza volcánica y 3,96 % (moderado) para el relleno, clasificándose ambos como arena limosa (SM). La capacidad admisible se determinó mediante los métodos clásicos de Terzaghi para zapatas cuadradas de 1,00 m de ancho a profundidades de 1,50 m y 1,90 m. Para el relleno se reporta un promedio representativo de 58,997 KN/m² a 1,50 m y 66,457 KN/m² a 1,90 m. Para la toba Pachia, los valores fueron 98,923 KN/m² y 109,753 KN/m² respectivamente. El

relleno compactado presentó capacidades admisibles de $103,855 \text{ KN/m}^2$ a 1,50 m y $118,032 \text{ KN/m}^2$ a 1,90 m, evidenciando la mejora por compactación. Asimismo, se aplicó el método de Meyerhof con fines comparativos dentro del análisis geotécnico.

En conclusión, los depósitos tecnógenos no son favorables para cimentaciones directas, mientras que la toba de la Formación Pachia puede emplearse siempre que el diseño considere sus características geotécnicas y la susceptibilidad al colapso.

Palabras clave: Cimentación, relleno, tobas Pachia, capacidad portante, ensayos de laboratorio

Abstract

This research thesis aimed to evaluate the geological and geotechnical characteristics of potentially collapsible soils for the foundation of housing in the Virgen de Copacabana Association, Mz. L' Lt. 6, Calana District – Tacna. The study corresponds to an applied research investigation, with a descriptive and exploratory level, and a non-experimental design. The area is characterized by the presence of technogenic deposits and volcanic deposits of the Pachia Formation. Seven test pits and one trench were excavated at depths ranging from 1,50 m to 1,93 m. Stratigraphic analysis identified fill materials and volcanic ash with moderate density and variable moisture content, without the presence of a groundwater table and without reaction to hydrochloric acid (HCl).

Given the particular nature of the materials, standard laboratory tests were complemented with collapsibility, Modified Proctor, and direct shear tests. Collapsibility indices were 0,39 % (low) for volcanic ash and 3,96 % (moderate) for the fill, both classified as silty sand (SM). The allowable bearing capacity was determined using Terzaghi's classical methods for square footings of 1,00 m width at depths of 1,50 m and 1,90 m. For the fill, a representative average of 58,997 kN/m² at 1,50 m and 66,457 kN/m² at 1,90 m was reported. For the Pachia tuff, values of 98,923 kN/m² and 109,753 kN/m² were obtained, respectively. The compacted fill presented allowable bearing capacities of 103,855 kN/m² at 1,50 m

and 118,032 kN/m² at 1,90 m, demonstrating improvement due to compaction. The Meyerhof method was also applied for comparative purposes within the geotechnical analysis.

In conclusion, technogenic deposits are not suitable for direct foundations, whereas the Pachia tuff can be used provided the design considers its geotechnical characteristics and the susceptibility to collapse inherent to volcanic deposits.

Keywords: Foundation, fill material, Pachia tuff, bearing capacity, laboratory testing.

Introducción

El crecimiento urbano en zonas periféricas y de expansión territorial, como ocurre en distintas localidades del distrito de Calana, región Tacna, ha impulsado la ocupación de terrenos en condiciones geotécnicas poco favorables, entre ellos, aquellos conformados por depósitos de ceniza volcánica de la formación Pachia, tanto en su estado natural como en condiciones de relleno.

En este contexto, la presente tesis se desarrolló en el sector denominado Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, con el objetivo de evaluar las características geológicas y geotécnicas del terreno, y así determinar su aptitud para la cimentación de viviendas mediante fundaciones superficiales. El enfoque del estudio se centró en identificar el comportamiento mecánico del suelo tanto en su estado natural como en condición de relleno, ya que en la zona de estudio se encontraron depósitos tecnógeno conformado por el mismo material de la formación Pachia.

Para ello se llevó una campaña de ensayos de laboratorio que incluyó pruebas estándar (granulometría, límites de consistencia, contenido de humedad, densidad in situ), así como ensayos especiales como la prueba de colapsabilidad, el ensayo de proctor modificado y corte directo.

Este trabajo está constituido en 7 capítulos, cuyo contenido se detalla a continuación:

En el capítulo I, se describe temas introductorios como la ubicación y accesibilidad de la zona de estudio y el tipo de investigación.

El capítulo II, plantea el problema de investigación, los objetivos, la justificación del problema, la hipótesis, así como la descripción de las variables, los alcances y las limitaciones del presente trabajo de investigación.

El capítulo III, contiene los antecedentes de investigación, las bases teóricas de las cenizas volcánicas y los parámetros dinámicos del suelo. También se incluyen las definiciones de los términos básicos empleados en este trabajo.

El capítulo IV, desarrolla la metodología de investigación, tipo de investigación, población y muestra, etapas de la investigación y los materiales utilizados en el presente proyecto.

En el capítulo V, se encuentran los aspectos climáticos, el marco geomorfológico, el marco geológico y los aspectos geotécnicos de la zona de estudio.

En el capítulo VI, se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio, se realiza el cálculo de la capacidad de carga y se determina geotécnicamente la condición del terreno.

Finalmente, el capítulo VII, contiene las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis de investigación.

Capítulo I: Generalidades

1.1. Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se realiza en la Asoc. Virgen de Copacabana, en la Mz. L' Lote 6, ubicada políticamente en el distrito de Calana de la provincia y región de Tacna, en el sur del Perú. La zona de intervención se encuentra a una altitud de 820 m.s.n.m.

La superficie de estudio presenta una extensión de estudio de 2.22 hectáreas, delimitadas por el sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84, zona 19S. Los límites han sido definidos con base en puntos georreferenciados levantados en campo, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1

Área de la zona de estudio

Área	Puntos	Este (m)	Norte (m)
2.22 Ha	A	372240	8014426
	B	372311	8014337
	C	372156	8014225
	D	372084	8014314

Nota: Coordenada UTM (datum WGS 84).

El proyecto se localiza sobre los depósitos de ceniza volcánica en el valle de Tacna. La zona de estudio incluye una estructura principal con cubierta ligera

(una capilla con techumbre metálica), así como algunas construcciones menores de tipo liviano destinadas a uso habitacional. Así mismo se identifican lotes habilitados para futuras viviendas y terrenos vacíos para otros usos.

En cuanto a infraestructura urbana, la zona cuenta con una alimentación eléctrica provisional compartida entre predios, mientras que no dispone aún de redes de agua potable ni de alcantarillado.

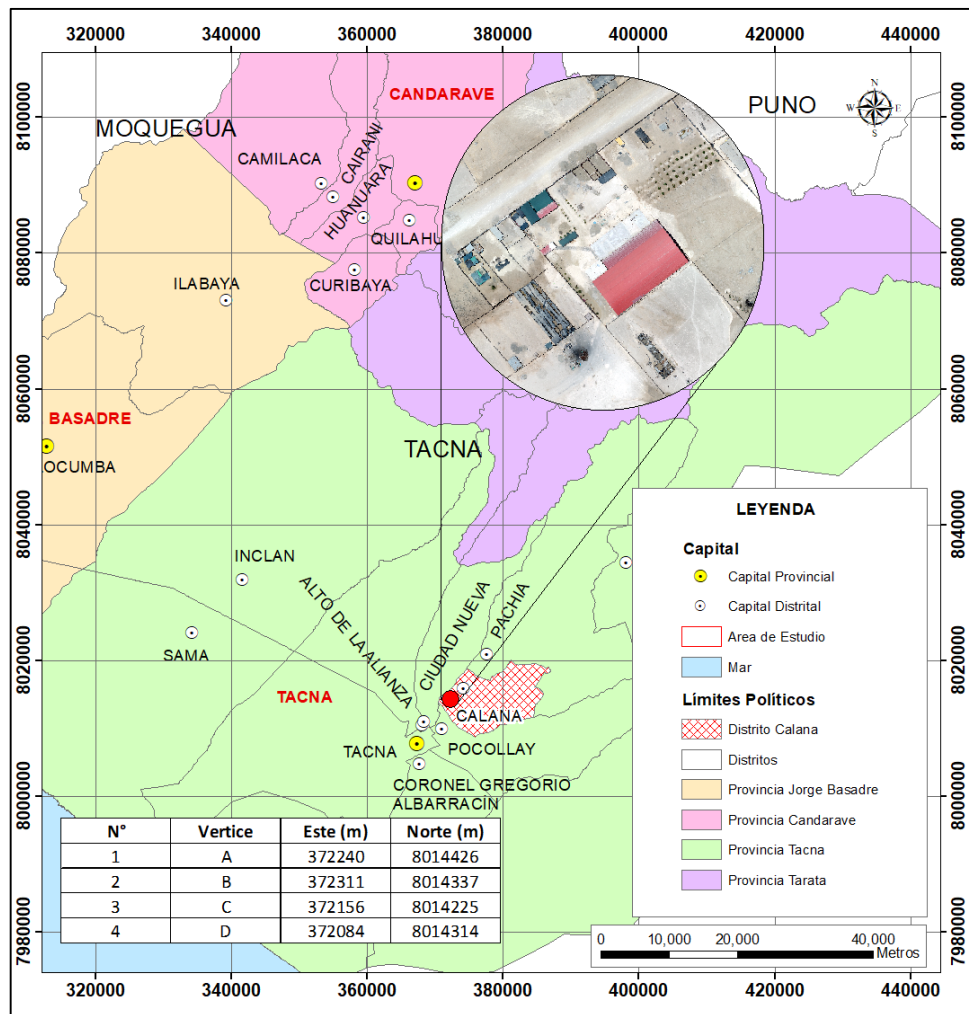
1.2. Accesibilidad al área de estudio

El acceso al área de estudio se realiza por vía terrestre. Desde el paseo cívico de Tacna, se recorren diversas calles y avenidas a través de los distritos de Tacna, Ciudad Nueva y Pocollay, hasta llegar a la Asociación Virgen de Copacabana, donde se encuentra el lugar de estudio.

Se observa en la siguiente figura la ubicación y accesibilidad al área de estudio.

Figura 1:

Ubicación del área de estudio



Nota: Mapa de la ubicación del área de estudio sobre la base de datos cartográficos del GEOCATMIN

Capítulo II: Problema de la investigación

2.1. Planteamiento y formulación del problema

En los últimos años la ciudad de Tacna muestra un incremento demográfico importante debido al creciente desarrollo de los distritos, que conlleva al aumento de las necesidades humanas básicas en el sector como es el asentamiento en zonas no adecuadas en la ciudad.

La Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6 y otros sectores distantes a su alrededor no cuentan con los servicios básicos de vivienda como el agua potable y desagüe, además también existen muy pocas edificaciones construidas con material noble. Es importante señalar que en la zona de estudio predominan los suelos de ceniza volcánica, los cuales presentan, por lo general un comportamiento colapsable. Ante ello se consideró importante realizar una evaluación geológica - geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas ubicadas en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana – Tacna.

Para el caso, conocer las características geológicas – geotécnicas del suelo constituye información fundamental para el diseño y construcción de viviendas, así como también para la prevención de riesgos geotécnicos. El presente plan de tesis es un tema de investigación que busca determinar si el terreno posee las condiciones técnicas para la cimentación de viviendas en la Asociación Virgen de Copacabana

Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana.

Emplear un programa de prospección del subsuelo mediante calicatas es un método directo que brindará observación profunda del material geológico en su estado natural.

2.1.1. Problema general

- ¿Cuáles son las características geológicas y geotécnicas de los suelos potencialmente colapsables en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna, y cómo influyen en la capacidad de carga admisible para fines de cimentación de viviendas?

2.1.2. Problemas específicos

- ¿Qué unidades geomorfológicas y geológicas predominan en el área de estudio y cómo condicionan la presencia y distribución de suelos colapsables?
- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los suelos predominantes en el área de estudio?
- ¿Qué grado de colapsabilidad presentan los diferentes tipos de suelos predominantes en el área de estudio?
- ¿Cómo se modifica la capacidad de carga admisible del terreno en

función del tipo de suelo en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna?

- ¿De qué manera la compactación del suelo mejora las propiedades mecánicas y capacidad de carga?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

- Evaluar las características geológicas y geotécnicas de los suelos potencialmente colapsables y su influencia en la capacidad de carga admisible con fines de cimentación de Viviendas en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana - Tacna.

2.2.2. Objetivos específicos

- Identificar y describir las unidades geomorfológicas y geológicas del área de estudio que condicionan la presencia de suelos colapsables.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos predominantes en el área de estudio.
- Evaluar el índice de colapsabilidad del suelo, clasificando su grado de susceptibilidad.

- Determinar la capacidad de carga admisible del terreno en función del tipo de suelo en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna.
- Determinar la compactación óptima para cada tipo de suelo y analizar el efecto sobre las propiedades mecánicas del suelo.

2.3. Justificación de la investigación

El incremento demográfico en la ciudad de Tacna que conlleva el aumento de las necesidades humanas básicas como es el asentamiento en zonas no adecuadas en el sector, puede ocasionar problemas graves de cimentación para las viviendas proyectadas, por ello el siguiente trabajo de investigación “Evaluación geológica – geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana – Tacna” busca prevenir estos futuros problemas mediante las características geológicas – geotécnicas y el potencial de colapso para los suelos de ceniza volcánica en el sector.

Los suelos de ceniza volcánica son considerados como suelos colapsables, es por ello que en esta investigación se busca determinar el potencial de colapso del suelo y así poder mitigar futuros desastres debido al riesgo que este suelo puede causar.

Es prioritario conocer el material geológico, sus propiedades mecánicas y geológicas y el potencial de colapso del terreno donde se edificará las futuras viviendas, de esta manera se generan alternativas de diseño de cimentación. Por lo tanto, en cualquier proyecto de edificación es vital determinar las propiedades geotécnicas del terreno de fundación.

El presente trabajo de investigación contribuirá como base y referencia para estudios posteriores, así también aporta conocer la realidad observable del suelo en el campo de la geotecnia.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Los suelos volcánicos del área de estudio presentan un comportamiento colapsable cuya magnitud se relaciona inversamente con la densidad seca y afecta la capacidad de carga admisible determinada para cimentaciones superficiales.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Mediante la identificación y descripción de las unidades geomorfológicas y geológicas del área de estudio será posible determinar las condiciones que controlan la presencia y distribución de suelos colapsables.
- Mediante la ejecución de calicatas y ensayos estándar de laboratorio será

posible obtener las propiedades físicas y la clasificación de los suelos.

- A través del ensayo del potencial de colapso se obtendrá el índice de colapsabilidad de los suelos predominantes en el área de estudio y establecer su grado de colapso conforme a los criterios de clasificación establecidos en la norma vigente.
- Mediante los métodos clásicos de capacidad portante de Terzaghi y Meyerhof se obtendrán valores de capacidad admisible para cimentaciones superficiales apoyadas tanto en cenizas volcánicas como en materiales de relleno.
- La compactación obtenida mediante el ensayo del Proctor modificado incrementará la densidad seca de los suelos predominantes en el área de estudio (ceniza volcánica y rellenos de origen volcánico), generando una mejora en sus propiedades mecánicas, particularmente en la capacidad portante, en comparación con su condición natural no compactada.

2.5. Descripción de las variables

2.5.1. Caracterización de las variables

2.5.1.1. Variables independientes. Como variable independiente se tiene a las propiedades geológicas - geotécnicas del terreno.

- **Indicadores:**

- Propiedades físicas del suelo
- Propiedades mecánicas del suelo
- Tipo de material del suelo

2.5.1.2. Variables dependientes. La variable dependiente es el comportamiento geotécnico del suelo colapsable.

- **Indicadores:**

- Capacidad portante del suelo.
- Índice de colapsabilidad.

2.5.2. Definición operacional de las variables

Los elementos considerados en las variables son materia de análisis que se realizarán mediante ensayos de mecánica de suelos y ensayos especiales, las tablas de clasificación y análisis cuantitativo y cualitativo para la finalidad de los objetivos propuestos.

2.6. Alcances y limitaciones

2.6.1. Alcances

El presente estudio determinará las características geológicas - geotécnicas

en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana - Tacna, de esta manera el estudio será aporte a la investigación geotécnica y su uso como base para posteriores temas de investigación.

2.6.2. Limitaciones

La presente investigación se desarrolló bajo ciertas restricciones inherentes al alcance del proyecto, la disponibilidad presupuestaria disponibles y el tiempo operativo asignado. La exploración en campo se basó en la ejecución de siete calicatas y una trinchera, permitiendo obtener una caracterización representativa de los depósitos de ceniza volcánica de la formación Pachia y los depósitos tecnógeno. Los ensayos especiales también se vió restringida por estas limitaciones. El ensayo de colapsabilidad, se aplicó únicamente a dos muestras representativas: una correspondiente al material de relleno y otra a las cenizas volcánicas. En el ensayo corte directo, se evaluaron muestras procedentes de tres calicatas, una de ceniza volcánica y dos de relleno. Aunque estos resultados permiten establecer tendencias de resistencia de corte, un número mayor de ensayos habría permitido un análisis más robusto. Asimismo, el ensayo de Proctor modificado se limitó a dos materiales: ceniza volcánica y relleno. Finalmente, el estudio se centró en los aspectos geológicos - geotécnicos para la cimentación de viviendas de la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana - Tacna.

Capítulo III: Marco teórico

3.1. Antecedentes

Se han realizado trabajos de investigación abocados a este tema de los cuales hago mención a continuación:

INDECI (2004) realizó el estudio de mapa de peligros de la ciudad de Tacna a escala 1:50 000, en la que se incluyeron calicatas y ensayos de laboratorio e in situ. En dicho trabajo se referencian 8 calicatas distribuidas por toda la unidad de ceniza volcánica, cuyos resultados sirvieron para caracterizar los suelos como arenas limosas (SM) con capacidades portantes mayores a 3 Kg/cm² confirmadas con ensayos in situ de Sondaje de Penetración Estándar (SPT).

Choque Machaca, Gloria M. (2017), en su estudio de tesis de maestría “Caracterización geotécnica de la ignimbrita Pachia mediante técnicas tradicionales y geofísicas de refracción sísmica y microtremores (MASW), Distrito de Pocollay, Tacna 2015”, realizó la investigación en la Asociación de Artesanos y Pequeños Industriales de Tacna (AAPITAC) al NO en el distrito de Pocollay, cuya zona de trabajo forma parte de los depósitos de cenizas volcánicas. En su estudio resuelve la caracterización geotécnica de las ignimbritas Pachia mediante trabajos geofísicos de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), y ensayos estándares y especiales de mecánica de suelos como corte directo, triaxial y consolidación unidimensional de suelos con la finalidad de determinar la

capacidad de carga admisible y el asentamiento.

Huamán C. y Acosta, S. (2012), en su tesis “Aplicación de Refracción Sísmica y Microtremores (REMI) con fines de cimentación en la Asoc. Jerusalén Nueva Esperanza y la Asoc. Alto mirador, distrito de Pocollay – Tacna”, establece la existencia de horizontes de suelos más competentes para fines de cimentación usando la aplicación de refracción sísmica, MASW y microtremores.

Flores Mello, Alfonso O. (2017) en su estudio titulado “Determinación del tipo de Suelo y Potencial de Colapso del Puesto de Salud Intiorko, Distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna – 2017” tiene como objetivo determinar el tipo de suelo y el potencial de colapso del suelo del puesto de salud Intiorko ubicado en el distrito de ciudad nueva en el departamento de Tacna, en la que resultó mediante teorías y pruebas de laboratorio de mecánica de suelos ser una arena limosa (SM) con un potencial de colapso de clase moderado para la capacidad de carga admisible de 1.00 kg/cm^2 .

Cañi Huaricallo, Guido. G. (2021) desarrolló su tesis de maestría titulado “Caracterización y evaluación del potencial de colapso de suelos derivados de la ceniza volcánica para prevenir problemas en cimentaciones superficiales en el distrito Alto de la Alianza – Tacna, 2015”, tuvo como objetivo determinar las características y evaluar la colapsabilidad de estos suelos. En el desarrollo de esta investigación se ha concluido que el suelo de ceniza volcánica presentó un grado

de colapso moderado (no colapsable), con índices de colapso del 2,9-3,9% a 0,50 kg/cm² y del 3,5-5,2% a 1,00 kg/cm², lo que sugiere la necesidad de mejorar las condiciones del suelo.

Ccalla Coila, G y Zegarra Valenzuela, G. A. (2021) en su tesis de grado titulado “Evaluación del Potencial de Colapso en los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en el Distrito de Calana – Tacna 2021” expresó como objetivo determinar la relación de las características de los suelos derivados de las cenizas volcánicas con la evaluación del potencial de colapso en el distrito de Calana, en la que se demostró que la relación entre el colapso y la densidad seca es inversamente proporcional y se determinó el tipo de suelo arena limosa (SM). Se realizaron ensayos de colapsabilidad para cinco calicatas sometidas a presiones de 1 Kg/cm² y 2 Kg/cm², determinándose que el suelo presenta un grado de colapso moderado.

Jailly Moreira, X. (2018) realizó la tesis de maestría titulado “Estudio del Comportamiento Geotécnico de un Suelo Colapsable Frente a Cimentaciones Superficiales”, la investigación se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Federal del Cariri (UFCA) en la ciudad de “Juazeiro do Norte - CE”. En su estudio expone la caracterización geotécnica de un suelo colapsable no saturado, mediante pruebas de laboratorio y de campo para fines de cimentación superficial, y pudo concluir que el suelo de estudio arena arcillo-limosa al ser expuesta a la humedad experimenta ciertos asentamientos, y en casos de alta

saturación, los asentamientos por colapso podrían ser hasta 45 veces superiores en comparación con los asentamientos en condiciones de humedad natural durante la temporada seca.

3.2. Bases teóricas

Se da a conocer las teorías de las técnicas que serán empleadas para el desarrollo de los objetivos del trabajo.

3.2.1. Teoría sobre las tobas volcánicas

Braja M. Das (2014), define el suelo como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que a su vez ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas. El suelo se utiliza como material de construcción y soporte de los proyectos de ingeniería civil, por ello es la importancia del conocimiento de las propiedades geotécnicas de los suelos.

Los suelos son formados a partir de la erosión de la roca madre mediante meteorización mecánica, química y biológica que darán lugar posteriormente a la disgregación y transformación de la roca. Si el suelo permanece en el sitio son denominados suelos residuales y si han sido transportados son llamados suelos transportados. Una singularidad de los suelos es la existencia de huecos, poros o intersticios entre las partículas que conjuntamente conformarán un volumen

aparente inicial mucho mayor que el volumen de los sólidos.

Crespo Villalaz C. (2004) manifiesta que cada tipo de suelo tienen atributos únicos, entre ellos las más comunes las que están compuestas únicamente por gravas, en otros predominarán las arenas, limos o arcillas. Aparte también existen suelos especiales que tienen cualidades muy particulares, están los suelos que poseen dentro de su formación el cementante calcáreo como por ejemplo los caliches y loess.

Otra propiedad que identifica a los suelos es la cohesión, que es la propiedad de atracción intermolecular, un ejemplo de ellas son las arcillas denominadas también como suelos cohesivos, mientras que los suelos no cohesivos son los que están compuestos por partículas de roca sin cementación como las gravas y arenas.

Little (1969), menciona que las cenizas volcánicas o suelos derivados de estas, poseen un caso especial debido a su origen natural como consecuencia de las actividades volcánicas y por los minerales que este tipo de material posee que no se suele encontrar en suelos comunes.

3.2.1.1. Depósitos de origen volcánico. De acuerdo a (González de Vallejo, 2002), los suelos volcánicos pueden formarse tanto por la descomposición de materiales subyacentes, generando limo y arcillas, como por el transporte de partículas volcánicas emitidas durante erupciones. Cuando estas partículas son arrastradas por el agua, se acumulan en depósitos lacustres o aluviales. Los

minerales volcánicos, al ser muy inestables, se transforman rápidamente en arcillas como halosita, alófana y esmectita. Según las condiciones de drenaje y composición del entorno, un tipo de arcilla puede predominar. Las arcillas volcánicas suelen tener estructuras granulares y elevada plasticidad, como en los suelos esmectíticos, que son muy expansivos. Los suelos residuales, en particular, pueden comportarse de forma inestable bajo presión y, en casos de sismos, pueden sufrir deslizamientos o flujos de tierra.

3.2.1.2. Piroclastos. Otro tipo significativo de suelos volcánicos son los depósitos de piroclastos. (Dávila Burga, J., 2004), conceptualiza los materiales piroclásticos como materiales sólidos que tienen sus orígenes a partir de los volcanes al ser expulsados en una erupción. Estos materiales pueden ser trasladados por el viento largas distancias.

Según Hernández Gutierrez & Santamarta Cerezal (2015), Los piroclastos son partículas de magma, en estado sólido o líquido, que se expulsan durante erupciones volcánicas explosivas. Pueden ser cristales individuales, fragmentos de cristales, vidrio o roca. Estos fragmentos pueden unirse mediante dos procesos: soldadura, que ocurre a altas temperaturas, y cementación, que resulta de la acción de fluidos entre los fragmentos. El comportamiento mecánico de estas rocas estará determinada por:

- Compactación

- Grado de soldadura entre las partículas
- Imbricación de las partículas
- Resistencia intrínseca entre las partículas
- Alteración

Los parámetros de imbricación, soldadura y compactación suelen estar interrelacionados, aunque no siempre; por ejemplo, pueden existir depósitos poco densos pero muy soldados, o compactados con baja unión entre partículas. La compactación es clave para la resistencia del macizo, y medir su densidad en campo es la mejor forma de evaluarla. Por otro lado, los grados de imbricación y soldadura se valoran mediante observación directa, siendo el primero dependiente de los puntos de contacto entre partículas, y el segundo del área de esas uniones soldadas.

La cantidad de agua afecta notablemente la resistencia de las tobas. Vásárhelyi (2002) halló que la resistencia a compresión simple de una toba saturada en Hungría es aproximadamente un 70% de la de la toba seca. En contraste, estudios en Filipinas por Catane, Orense y Tsuda (2007) revelaron que esta cifra puede llegar al 90%.

3.2.1.3. Clasificación de los piroclásticos. González de Vallejo (2002) refiere que los piroclastos están compuestos por partículas de diferentes tamaños, que van desde cenizas finas (menos de 2 mm) hasta lapilli (entre 2 y 64 mm), e incluso fragmentos más grandes. Su acumulación ocurre en capas, influenciada por

factores como la dirección del viento o el desplazamiento de las nubes de cenizas y flujos piroclásticos. Estos depósitos suelen tener una estructura esponjosa, con baja densidad y alta porosidad. Con el tiempo, las cenizas pueden endurecerse o cementarse, formando tobas blandas que son propensas a colapsarse bajo cargas ligeras. Si los piroclastos aún están parcialmente fundidos al momento de su deposición, se compactan para formar una toba sólida.

De acuerdo al tamaño se clasifican en cenizas, lapilli y escoria como se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Clasificación de materiales piroclásticos según tamaño

Nombre	Dimensión
Cenizas	< 2 mm
Lapilli	2 a 64 mm
Escoria	> 64 mm

Nota: Datos basados en Hernández Gutierrez & Santamarta Cerezal (2015).

Las pómez son caracterizadas por ser más livianos, de contextura porosa y colores claros.

Hoyos Patiño (2012), señala lo siguiente: La ceniza volcánica es el material sólido de tamaño arenoso o inferior que los volcanes expulsan durante las erupciones, pudiendo extenderse sobre grandes superficies. Usualmente, se refiere al material suelto y no cementado, aunque a veces se utiliza también para el material

cementado, que debería denominarse toba. Little (1969), menciona que las cenizas volcánicas son consideradas como suelos residuales por los procesos de formación que esta tuvo lugar.

Hernández Gutierrez & Santamarta Cerezal (2015), explica que los materiales piroclásticos pueden también encontrarse cementados por lo que recibirían el nombre general de tobas. Entonces se clasifica de acuerdo a su condición de deposición en:

a. Ignimbritas soldadas y tobas. Son rocas de dureza media a alta, que corresponden a depósitos piroclásticos compactos, como las ignimbritas y cineritas. Se originan cuando una nube de material piroclástico denso es transportada por gases, generando un depósito con variado grado de compactación o cementación (el resultado es un material con propiedades de roca más o menos dura). Durante su formación, estos depósitos cubrieron depresiones topográficas. Las ignimbritas soldadas, que se asemejan a flujos de lava, y las ignimbritas no soldadas con contenido apreciable de pómez y tonalidades blanco amarillentos, llamadas "toba" o "tosca" en Canarias.

b. Materiales piroclastos sueltos o débilmente cementados. Estos depósitos son poco compactos y tienden al colapso, formándose cuando fragmentos de magma caen cerca del centro eruptivo. Los fragmentos grandes, llamados escorias, a veces adquieren formas redondeadas (bombas) al girar en el aire. Los

materiales más ligeros y porosos, conocidos como pómez, forman depósitos plinianos o de lluvia piroclástico, con una baja densidad y peso específico seco medio entre 7 y 13 kN/m³.

3.2.2. Conceptos de los depósitos tecnógenos

Chemekov (1983, citado en Goossens Peloggia, Dos Santos Oliveira, De Oliveira, Nesta Silva, & Rodrigues Nunes, 2014), define a los depósitos tecnógenos como los materiales sedimentarios cuya formación u origen está asociado de manera directa a la actividad humana. Se trata por tanto de depósitos artificiales o modificados por acción humana, cuyo comportamiento geotécnico depende tanto del tipo de material incorporado como de las condiciones bajo las que fueron generados.

Según la norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE), conceptualiza a los rellenos como depósitos artificiales en la que involucra al ser humano como componente clave de su origen. De esta manera, los rellenos constituyen una característica particular de los depósitos tecnógenos, caracterizada por su colocación con fines constructivos o de acondicionamiento del terreno.

González de Vallejo (2002) menciona que los rellenos antrópicos no controlados y vertederos son frecuentes en zonas urbanas y periurbanas. Debido a su heterogeneidad y baja compactación, presentan un elevado potencial de densificación y colapso, incluso bajo cargas ligeras.

La solución más común es fundar sobre pilotes o pozos, transfiriendo la carga al terreno firme subyacente, considerando el posible efecto de rozamiento negativo. Si el espesor del relleno es reducido, suele optarse por su retirada total. También se emplean métodos de mejora del terreno como inyecciones, “jet grouting”, compactación dinámica o precarga. En casos de colapso, se aplican las mismas medidas que para suelos colapsables.

La norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE), diferencia a los depósitos artificiales en base a su naturaleza y por las condiciones bajo las que son colocados

3.2.2.1. Rellenos artificiales - Por el material que lo constituye.

a. Materiales seleccionados. Son denominados a los suelos compactables, con partículas no mayores a 3”, con 30% o menos de material retenido en la malla ¾” y sin elementos diferentes de los suelos naturales.

b. Materiales no seleccionados. Son los materiales de relleno que no cumplen con la condición descrita anteriormente.

3.2.2.2. Rellenos artificiales - Por las condiciones bajo las que son colocadas.

a. Rellenos controlados o de ingeniería. Se considera relleno controlado a aquel que ha sido conformado utilizando material seleccionado, y que puede

ofrecer condiciones de apoyo equivalentes a las de un terreno natural para cimentaciones superficiales. Los procedimientos de colocación, compactación y verificación del relleno dependerán principalmente de las características físicas del suelo empleado.

La compactación del material deberá realizarse conforme a los parámetros técnicos establecidos para garantizar su desempeño estructural.

- Cuando el contenido de finos supera el 12%, el material deberá ser compactado alcanzando como mínimo el 90% de la densidad seca máxima, determinada según el ensayo Proctor Modificado conforme a la NTP 339.141 (ASTM D1557), aplicable a todo el espesor del relleno.
- En caso de que el material contenga 12% de finos o menos, deberá ser compactado alcanzando al menos el 95% de la densidad seca máxima, según lo establecido en el ensayo Proctor Modificado conforme a la NTP 339.141 (ASTM D1557), aplicable a la totalidad del espesor compactado.

Es necesario realizar controles de compactación en cada capa colocada, con una frecuencia mínima de un ensayo por cada 250 m², garantizando al menos tres controles por capa. En superficies reducidas (menores o iguales a 25 m²), será aceptable la ejecución de un solo control. El espesor máximo por capa sometida a

verificación no debe exceder los 30 cm.

En caso de requerirse la evaluación de la compactación en un relleno controlado ya ejecutado, esta deberá llevarse a cabo mediante alguno de los métodos establecidos:

- Se deberá realizar un ensayo de Penetración Estándar (SPT) conforme a la NTP 339.133 (ASTM D1586) por cada metro de altura del relleno controlado. Los resultados obtenidos deberán superar un valor de N_{60} igual a 25, golpes por cada 30 cm de penetración.
- Se debe efectuar un control de compactación cada 0,50 m de espesor utilizando el ensayo del Cono de Arena conforme a la NTP 339.143 (ASTM D1556) o mediante métodos nucleares según la NTP 339.144 (ASTM D2922). Los valores obtenidos deberán ser superiores al 90% de la densidad seca máxima del ensayo de Proctor Modificado cuando el contenido de finos sea mayor al 12%, y superiores al 95% en caso de que dicho contenido de finos sea igual o inferior al 12%.

b. Rellenos no controlados. Son los materiales de relleno que no cumplen con los requisitos establecidos en el artículo 21.1 de la norma, no son aptos para recibir cimentaciones superficiales. En estos casos, se recomienda su retiro completo y su reemplazo por material seleccionado y compactado adecuadamente,

conforme a lo dispuesto en el mismo artículo, antes de ejecutar cualquier obra de cimentación.

González de Vallejo (2002), da a conocer que los rellenos antrópicos no compactados suelen presentar una estructura suelta, donde el agua se aloja en los contactos entre partículas, formando meniscos debido a la succión generada por la diferencia de presión entre el aire y el agua en los poros. Estos meniscos originan fuerzas intergranulares que mantienen un nivel aceptable de resistencia mecánica mientras el contenido de humedad se mantenga estable.

Sin embargo, al saturarse el terreno, dichas fuerzas desaparecen, lo que conlleva a un colapso repentino del suelo y a una reducción significativa de volumen (entre un 2% y 7% en el caso de suelos con arenas limosas, como los presentes en el centro de la península ibérica). Este comportamiento ha generado problemas graves en distintos emplazamientos, como ocurrió en la Avenida de la Ilustración, en Madrid. En este tipo de terrenos, el ensayo de penetración continua resulta eficaz para distinguir entre suelo natural, que suele registrar más de 25–30 golpes/20 cm, y material de relleno mal compactado, con valores mucho menores, entre 5 y 15 golpes/20 cm.

3.2.3. Conceptos fundamentales sobre suelos colapsables

3.2.3.1. Descripción y características de los suelos colapsables. Crespo Villalaz (2004), llaman suelos colapsables a los suelos que encontrándose secos o

parcialmente saturados, sufren una gran disminución de su volumen total al saturarse completamente.

El Reglamento Nacional de Edificaciones E-50 en el apartado de suelos y cimentaciones menciona que los suelos colapsables cambian bruscamente su volumen al encontrarse sometidos a un incremento de carga o al humedecerse o saturarse o combinarse las acciones anteriores

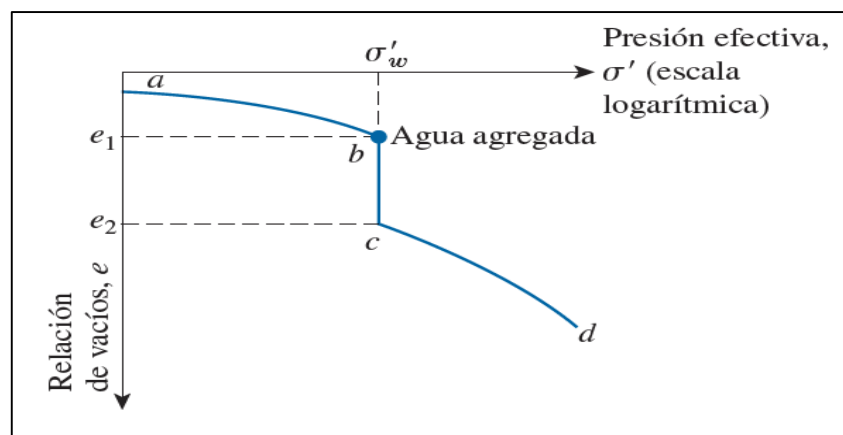
Los suelos colapsables generan un problema especial de cimentación que podría causar hundimiento en el suelo generando inestabilidad a la estructura. Las cimentaciones que se construyen sobre este tipo de suelo se encuentran sometidas a grandes fuerzas causadas por el hundimiento del suelo, consecuentemente provocando asentamiento, agrietamiento y ruptura de la cimentación y estructura. Debido a ello las edificaciones deberán ser emplazadas sobre suelos no colapsables. La norma nos recomienda que ante la presencia de suelos colapsables poco profundos, estos deberán ser retirados completamente para ser reemplazados por rellenos controlados compactados eficazmente en base a la norma.

Braja M. (2012), menciona que los suelos colapsables, son también conocidos como suelos metaestables, son aquellos que, al pasar de un estado no saturado a uno saturado, experimentan un cambio notable en su volumen, independientemente de la aplicación de cargas adicionales. Su comportamiento bajo carga se ilustra en una gráfica que relaciona vacíos y presión efectiva (e contra

$\log \sigma'$). Cuando la muestra se satura, su estructura colapsa, alterando la relación de vacíos de equilibrio. Las cimentaciones en estos suelos pueden sufrir asentamientos repentinos si el suelo debajo se humedece inesperadamente, lo que puede provocar daños estructurales significativos. Por ello, es esencial identificar estos suelos durante la exploración de campo.

Figura 2:

Variación de la relación de vacíos y la presión efectiva para un suelo colapsable



Nota: Tomado de Braja M. Das (2012).

3.2.3.2. Tipo de suelos colapsables. Braja M. (2012) refiere que mayormente los suelos colapsables de origen natural son eólicos (arenas y limos depositados por el viento, como el loess, playas eólicas y polvo volcánico). Estos depósitos tienen altas relaciones de vacíos y bajos pesos específicos, con poca o ninguna cohesión. En el loess, la cohesión puede ser atribuida a recubrimientos de arcilla o precipitados químicos. Al saturarse, los aglutinantes de arcilla pierden

resistencia, lo que provoca un colapso estructural.

Muchos suelos colapsables provienen de suelos residuales, que se forman por la descomposición de rocas madre a través del intemperismo. Este proceso da lugar a suelos con una gran diversidad de tamaños de partículas. Durante el intemperismo, se lixivian materiales solubles y coloidales, resultando en relaciones de vacíos amplias y estructuras inestables.

González de Vallejo (2002), indica que los depósitos de climas áridos como en las zonas geomorfológicas de abanicos aluviales, llanuras y playas debido a su material característicos, principalmente de arenas y limos, presentan problemas de colapsabilidad por la densificación de suelos.

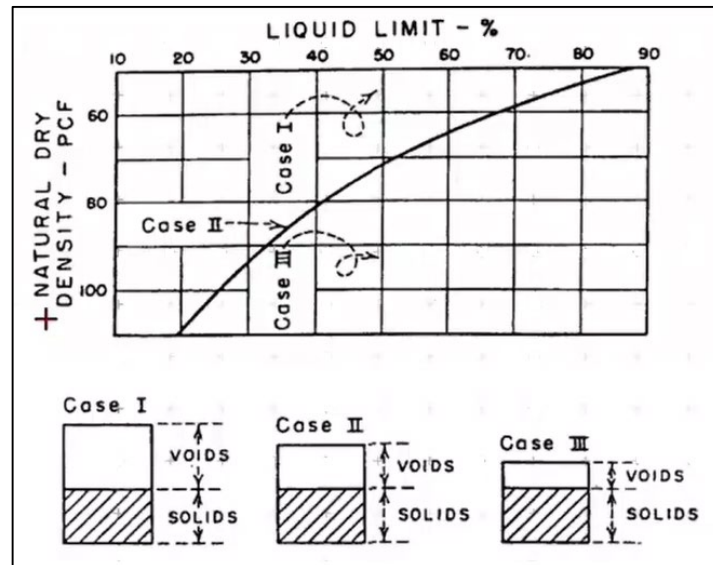
Las tobas blandas y los aglomerados piroclásticos, que tengan estructuras muy abiertas y que los contacto entre partículas sean débiles, con densidades bajas, tienden a colapsar bajo cargas y/o por inundación.

Los rellenos antrópicos no compactados generan una estructura suelta donde el agua se encuentra en los contactos entre partículas, formando meniscos debido a la succión por la diferencia de presión. Estos meniscos crean fuerzas intergranulares que comprimen las partículas, proporcionando resistencia en condiciones normales de humedad. Sin embargo, al saturarse con agua, se eliminan los meniscos, lo que reduce las fuerzas intergranulares y provoca colapsos significativos o disminuciones de volumen.

3.2.3.3. Evaluación y clasificación de suelos colapsables. Según Lee, Lee, sharma, & Boyce (2002), Los suelos que experimentan reducciones significativas en su volumen aparente al saturarse son clasificados como suelos colapsables. Gibb y Bara (1967) mencionan que se pueden identificar tres casos como criterio para potencial de colapso. Estos casos se pueden diferenciar dependiendo de su densidad seca natural y el límite líquido, dependiendo de estas propiedades se obtendrán una región que se encuentran una zona potencialmente colapsable y otra zona no colapsable como en la figura siguiente. Estos suelos tienden a colapsar cuando su espacio vacío es superior al límite líquido como en el caso I de la siguiente figura. Para el caso III, los suelos con espacios vacíos menores a la cantidad para el límite líquido serían plásticos incluso si llegaran a saturarse y no se colapsarían a no ser que estuvieran cargados. El colapso puede ser causado por la saturación de agua o por una combinación de esta y una carga adicional. Los suelos colapsables suelen tener estructuras sueltas y están parcialmente saturados, con enlaces que pueden romperse al introducir humedad.

Figura 3:

Criterio para evaluación potencial para suelos colapsables



Nota: Tomado de Gibbs y Bara, 1967 (reproducido por permiso de ASCE).

Braja M. (2012), presenta el método de Jennings y Knigh (1975) para evaluar el potencial de colapso del suelo, basado en la determinación del contenido de humedad y su relación con la capacidad de colapso de un suelo.

Con este método se determina las relaciones de vacíos e_1 y e_2 antes y después de la saturación, respectivamente. Con estos datos, es posible calcular el potencial de colapso C_p de la siguiente manera como indica en la ecuación (1):

$$C_p = \Delta\varepsilon = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \quad (1)$$

Donde e_0 es la relación de vacíos natural del suelo y $\Delta\varepsilon$ es la deformación

vertical.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el apartado de suelos y cimentaciones, un suelo con características de ser susceptible al colapso se deberá sustentar mediante los resultados del ensayo de colapsabilidad potencial de acuerdo a la norma NTP 339.163 (ASTM D 5333).

El método de ensayo es utilizado para los suelos que tengan ocurrencia de hundimiento debido a su característica colapsable. Para ello las muestras representativas del suelo se obtendrán en condición inalterada, caso contrario se deberán remoldear a su densidad natural y contenido de humedad natural con el fin de probarlas en el edómetro, el ensayo empieza con una presión mínima después de obtener su masa inicial y altura inicial, luego se saturará con agua destilada con la finalidad de inducir el potencial de colapso. Se deberá tomar en todo el proceso el registro de deformación vs tiempo.

El potencial de colapso es definido a partir de la siguiente ecuación (2):

$$CP(\%) = \frac{\Delta e}{1+e_o} \times 100 \quad \text{ó} \quad CP(\%) = \frac{\Delta H_c}{H_o} \quad (2)$$

Donde:

Δe = Cambio en la relación de vacíos debido al colapso bajo humedecimiento

e_o = Relación de vacíos inicial

ΔH_c = Cambio de altura de la muestra

H_o = Altura inicial de la muestra

Para la severidad del problema de colapsabilidad se empleará la tabla 3.

3.2.3.4. Clasificación de suelos colapsables. La norma E-50 del reglamento nacional de edificaciones del Perú describe la severidad del problema de colapso mediante los siguientes grados de colapso:

Tabla 3

Clasificación del índice de colapso I_c

Índice de colapso I_c (%)	Grado de colapso
0	Ninguno
0,1 a 2	Leve
2,1 a 6,0	Moderado
6,1 a 10	Moderadamente severo
> 10	Severo

Nota: Datos tomados del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), norma E-50 (2020).

3.2.4. Sistemas de clasificación de suelos

3.2.4.1. Dimensión de las partículas del suelo. El suelo está conformado por partículas de diferentes dimensiones y dependiendo del predominio de su dimensión son mayormente denominados grava, arena, limo y arcilla.

Las gravas son fragmentos de rocas que pueden estar acompañados por partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales. Las arenas están conformadas básicamente por cuarzo y feldespatos y otros minerales. Los limos están conformados por granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas. Finalmente, las arcillas son partículas más pequeñas que los limos en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales.

Las partículas se clasifican como arcilla en base a su tamaño y no contienen necesariamente minerales arcillosos. A continuación, se muestra el tamaño del grano del suelo desarrollado por distintas organizaciones.

Tabla 4*Límites de tamaño de suelos separados*

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
Asociación americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Finos (Es decir, limos y arcillas) <0,075	

Nota: Datos basados en Braja M. Das (2014).

3.2.4.2. Plasticidad. Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. (2006), hay suelos que, al cambiar su contenido de agua, presentan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha llamado plástica. Los investigadores posteriores han probado que la plasticidad de un suelo es debida a su composición de partículas más finas de forma laminar. Esta forma laminar influye de manera importante en la compresibilidad del suelo. Por otro lado, se ha desarrollado mediante otras ramas de la ingeniería otra interpretación del concepto de plasticidad, en la cual se basa en las características esfuerzo-deformación de los

materiales.

Además, en mecánica de suelos puede definirse la plasticidad como “la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse y agrietarse”.

La mecánica de suelos busca establecer relaciones empíricas y teóricas entre la plasticidad y las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas. (Villalobos, 2006).

a. Estados de consistencia. Atteberg señala que la plasticidad no es una cualidad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Cuando una arcilla no tiene agua, con plasticidad nula, puede poseer la consistencia de un ladrillo y si esta tiene demasiada agua, podría poseer las propiedades de un lodo semilíquido o las de una suspensión líquida.

Atteberg define los siguientes estados de consistencia:

- Estado líquido: Posee propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido: Tiene propiedades de un fluido viscoso
- Estado plástico: El suelo se comporta plásticamente
- Estado semisólido: El suelo tiene la apariencia de un sólido, pero

disminuye el volumen al estar sujeta al secado

- Estado sólido: El volumen del suelo no varía con el secado

Para distinguir sus fronteras, Atteberg estableció las primeras convenciones bajo el nombre de límites de consistencia.

- Límite líquido (LL): Denominada así por Atteberg a la frontera ubicada entre los estados semilíquido y plástico. Esto lo definió empleando cierta técnica de laboratorio.
- Límite plástico (LP): Llamada de esta manera a la frontera ubicada entre los estados plástico y semisólido, definido así también mediante técnicas de laboratorio
- Límite de adhesión: Definido como el contenido de agua con el que la arcilla pierde las propiedades de adherencia con una hoja metálica.
- Límite de cohesión: Definido como el contenido de agua con el que los grumos de arcilla ya no se adhieren entre sí.
- Límite de contracción (LC): Frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, se define con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguir secando.

De estos solo los límites líquidos, plástico y contracción presentan un interés

definido en las aplicaciones de la mecánica de suelos.

Por medio de estos límites de consistencia se ha establecido el Índice de Plasticidad (IP) definido como la siguiente ecuación (3):

$$IP = LL - LP \quad (3)$$

b. Determinación del límite líquido. Se realiza a partir de un procedimiento estandarizado desarrollado por Casagrande (1932). El límite líquido se determina colocando el suelo remoldeado en la cápsula del dispositivo, en la cual se practica una ranura central. Posteriormente, la cápsula se golpea de manera controlada contra una superficie dura hasta provocar el cierre de la ranura. Según Atterberg, el suelo alcanza el contenido de agua correspondiente al límite líquido cuando los bordes inferiores de la ranura entran en contacto, sin mezclarse, después de un número determinado de golpes. (Juárez & Rico, 2006).

El golpeteo del cucharón induce el movimiento de las dos partes del suelo, siendo el deslizamiento contrarrestado por la adherencia entre el suelo y la cuchara de bronce. De este modo el ensayo apunta a obtener la resistencia al corte no drenado de forma dinámica. Casagrande encontró que el límite líquido corresponde aproximadamente a una humedad para lo cual el suelo desarrolla una resistencia no drenada de 2,5 KPa. (Villalobos, 2016)

c. Determinación del límite plástico. Definido por Atterberg, sin

embargo, no especifica el diámetro del cilindro que debe llegar al suelo requerido. Terzaghi agregó la condición que el diámetro sea 3 mm.

Se han realizado varias maneras para sustituir el rolado manual por la acción mecánica de algún aparato, pero hasta la fecha, no se ha podido desarrollar ningún aparato en que la presión ejercida se ajuste a la tenacidad de los diferentes suelos; en el rolado manual, el operador, guiado por el tacto, realiza el ajuste automáticamente.

3.2.4.3. Clasificación de los suelos. Dada la complejidad y prácticamente la infinita variedad con que los suelos se presentan en la naturaleza, cualquier intento de sistematización científica, debe ir precedido por otro de clasificación completa. Obviamente la mecánica de suelos desarrolló otros sistemas de clasificación desde un principio. Primeramente, dado el escaso conocimiento de los suelos que se tenía, fundándose en criterios puramente descriptivos; nacieron así varios sistemas, de los cuales, los basados en las características granulométricas, ganaron popularidad rápidamente y hoy deben verse superados. (Juárez & Rico, 2006)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es el lenguaje de clasificación más usado y comprendido por profesionales en distintas especialidades.

a. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Según se dijo, este sistema está basado en el de aeropuerto, hasta el grado que puede que es el mismo con ligeras modificaciones. El sistema cubre los suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas, menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas quedan retenidas encima de la malla 200 y fino, si más de sus partículas, en peso, pasan la malla. (Juárez & Rico, 2006)

Seguidamente se presenta las tablas de resumen de la clasificación SUCS:

Tabla 5

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) – Suelos de grano grueso

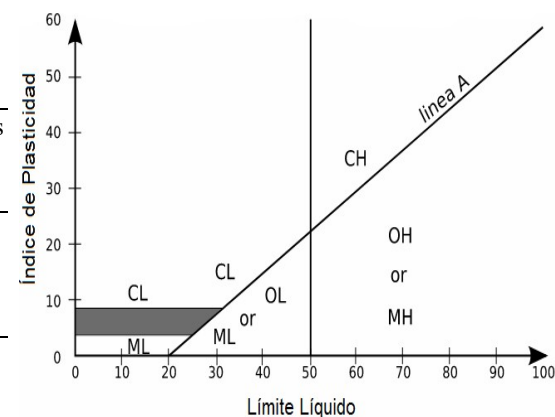
Divisiones principales		Símbolos del grupo	Nombres típicos	Identificación de laboratorio		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS	Gravas limpias (Sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos	Determinar	$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} * D_{60}$ entre 1 y 3	
	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4.76 mm)		GP Gravas, mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos	porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica.	No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW	
		Gravas con finos (Apreciable cantidad de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:	Límites de Atterberg debajo de la línea A con $IP < 4$.	Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
			GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	
		Arenas limpias (Pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} * D_{60}$ entre 1 y 3	
	Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200 (4.76 mm)	Más de la mitad de la fracción gruesa pasapor el tamiz número 4 (4.76 mm)		SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos	$< 5\%$ es GW, GP, SW, SP.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW
		Arena con finos (Apreciable cantidad de finos)	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	$> 12\%$ es GM, GC, SM, SC.	Límites de Atterberg debajo de la línea A con $IP < 4$.	Situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble
			SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	5 al 12% son casos límite que requieren usar doble símbolo.	Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$.	

Nota: Datos basados en Juárez & Rico (2006).

Tabla 6

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) – Suelos de grano fino

SUELOS DE GRANO FINO	Límite líquido menor de 50	ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas o de baja plasticidad.
	Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
	Suelos muy orgánicos	PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.



Nota: Datos basados en Juárez & Rico (2006).

Los resultados se representan mediante la gráfica granulométrica, en ahí suele dibujarse con porcentaje en peso del material total como ordenadas y el tamaño de las partículas como abscisas. La forma de la curva da la primera impresión de la distribución granulométrica del suelo, una línea vertical representa un suelo compuesto por partículas de un solo tamaño.

En la ecuación (4) se muestra el coeficiente de uniformidad propuesta por Allen Hazen.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4)$$

En donde:

D_{60} =Diámetro correspondiente al 60% del peso del material.

D_{10} = Diámetro por el que pasa el 10% del material

Si Cu es menor de 5, el suelo tiene una granulometría uniforme; si se da el caso que Cu varía entre 5 y 20 es poco uniforme, y si Cu es mayor que 20 es un suelo bien graduado. Cuanto más uniforme es la granulometría de un suelo, más uniforme es el tamaño de sus huecos. (Gonzales de Vallejo, 2002)

Como dato complemento para definir la graduación, se define el coeficiente de curvatura del suelo (Cc) como se muestra en la ecuación (5).

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (5)$$

En donde: D30 = Diámetro por el que pasa el 30% del material.

Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas

b. Sistema AASHTO. El sistema de clasificación AASHTO fue propuesto en el año 1945 por la Highway Research Board's Committee de EEUU para la clasificación de materiales a usar en subrasantes y caminos de tierra. Según la actual forma del sistema AASHTO el suelo se puede clasificar en 8 grupos, de A-1 al A-8. Aquellos suelos que están comprendidos en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales gruesos; los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son materiales finos y en el grupo 8 están los suelos altamente orgánicos (turba, lodo y otros), estos son clasificados por inspección visual. (Villalobos, 2016)

El índice de grupo (IG), es un parámetro usado para la clasificación de AASHTO. Sirve para cuantificar la calidad de un suelo como subrasante. Se define en la siguiente ecuación (6).

$$IG = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d) \quad (6)$$

Donde:

a = F-35 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200). Expresado por un

número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

b = F-15 (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

c = LL-40 (LL = Límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d = IP-10 (IP = Índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

A continuación, se presenta la clasificación de suelos según el Índice de Grupo.

Tabla 7

Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice de Grupo	Suelo de subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 y 9	Pobre
IG está entre 2 y 4	Regular
IG está entre 1 y 2	Bueno
IG está entre 0 y 1	Muy Bueno

Nota: Datos tomados del Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013).

Tabla 8

Sistema AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa la N° 200)							Materiales limo - arcillosos (Más del 35% pasa la N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Análisis de cernidor.											
Porcentaje que pasa:											
N°10	50 max										
N°40	30 max	50 max	51 max								
N° 200	15 max	15 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Características de la fracción que pasa la N° 40,											
Limite líquido,											
Índice plástico	6 max		NP	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice de grupo	0		0	0	4 max		8 max	12 max	16 max	20 max	
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedras, gravas y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general como subbase	Excelente a buena							Regular a pobre			

Nota: La subdivisión del grupo A-7 se realiza con el criterio (LL-30). Los suelos con finos de baja plasticidad ($IP \leq LL-30$) se clasifica como A-7-5, mientras que los de mayor plasticidad ($IP > LL-30$) corresponde a A-7-6. Datos basados en Crespo Villalaz (2004).

3.2.5. Resistencia al corte

De acuerdo a Braja M. Das, (2012), define la resistencia al corte del suelo como la resistencia interna por área unitaria de un suelo para resistir la falla y el deslizamiento que se puede dar dentro de él.

Según Mohr, los suelos presentan características como la cohesión y fricción interna por lo que asignó una ley de resistencia conocida como la ley de Coulomb, que consisten en la siguiente ecuación (7)

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (7)$$

Donde:

τ_f = Esfuerzo cortante sobre el plano de falla

c = Cohesión

σ = Esfuerzo normal sobre el plano de falla

ϕ = Ángulo de fricción interna

La cohesión es la característica particular de un suelo que presenta resistencia al corte bajo un esfuerzo normal nulo. (Hoyos Patiño, 2012)

El ángulo de fricción interna es el ángulo cuya tangente es el coeficiente promedio de fricción entre las partículas de un suelo (Hoyos Patiño, 2012)

3.2.6. Capacidad de carga

De acuerdo a Bernal J. R. (2005), define la capacidad de carga del suelo como aquel peso que resiste un área determinada del suelo sin que se ocasionen fallas o deformaciones excesivas.

La capacidad de carga última (q_u) es aquella en el cual la carga por área unitaria tiene una falla imprevista en el suelo que soportará la cimentación. (Braja M. Das, 2014)

La capacidad de carga admisible (q_{adm}) es la carga última dividida entre un factor de seguridad.

3.2.6.1. Tipos de falla. Se han clasificado tres tipos de fallas: falla por cortante general, falla por cortante local y falla de cortante por punzonamiento

- **Falla por cortante general**

Este tipo de falla ocurre de manera repentina y la superficie de falla del suelo se extiende hasta la superficie, ocasiona hinchamiento del suelo a los lados del cimiento. Se presenta en suelos de arena densa o cohesivo firme.

- **Falla por punzonamiento**

Esta falla se produce en suelos bastante sueltos y la superficie de falla del suelo no se extiende hasta la superficie. Se evidencia u

movimiento vertical de la cimentación por la compresión del suelo que ocurre debajo de la cimentación.

- **Falla por cortante local**

Se da en suelos de arena o en arcillas de compactación media, esta falla tiene propiedades de las dos fallas anteriores y la superficie de fallas son incompletas.

3.2.6.2. Metodología de Terzaghi para determinar la capacidad de carga. Para el desarrollo de este trabajo se describirán las ecuaciones de los métodos de Terzaghi.

Braja N. Das (2012), Terzaghi expone que una cimentación es considerada superficial si la profundidad (D_f) de la cimentación es menor que o igual al ancho (B). Posteriormente los investigadores han sugerido que la cimentación superficial son cuyas cimentaciones con profundidad (D_f) igual 3 a 4 veces el ancho (B) de la cimentación.

La ecuación (8), muestra la ecuación de Terzaghi para un cimiento en franja

$$q_u = CN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (8)$$

Donde:

c = Cohesión del suelo

γ = Peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensional que son únicamente funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ .

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

K_{py} = coeficiente de presión pasiva

A continuación, se presentan las ecuaciones (9), (10) y (11), correspondientes a los factores de capacidad de carga según Bowles J. E. (1997):

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2 * \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (9)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\phi \quad (10)$$

$$N_\gamma = \frac{\tan(\phi)}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2(\phi)} - 1 \right) \quad (11)$$

A continuación, la variación de factores de capacidad de carga procedentes con los ángulos de fricción del suelo.

Ecuaciones (12) y (13) propuestas por Terzaghi para cimientos cuadrados o redondos. (Crespo Villalaz, C. 2004).

Cimiento cuadrado

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma \quad (12)$$

Cimiento circular

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,3\gamma BN_\gamma \quad (13)$$

Donde B es el ancho del lado del cimiento cuadrado y es el diámetro en el cimiento circular.

Para las cimentaciones con falla de corte local, Terzaghi sugirió las siguientes ecuaciones (14), (15) y (16) modificadas.

Cimiento continuo

$$q_u = \frac{2}{3}N'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma \quad (14)$$

Cimiento cuadrado

$$q_u = 0,86cN'_c + qN'_q + 0,4\gamma BN'_\gamma \quad (15)$$

Cimiento circular

$$q_u = 0,86cN'_c + qN'_q + 0,3\gamma BN'_\gamma \quad (16)$$

3.2.6.3. Metodología de Meyerhof (1963) para determinar la capacidad de carga. Bowles J. E., (1997), La metodología propuesta por Meyerhof (1963) desarrolló un método para estimar la capacidad de carga última de cimentaciones superficiales. Su propuesta introduce factores de forma, profundidad e inclinación que mejoran las estimaciones clásicas, permitiendo considerar las propiedades del suelo y la geometría de la zapata antes de aplicar las ecuaciones correspondientes.

La ecuación (17), muestra la ecuación general de Meyerhof para la capacidad portante última.

$$q_u = CN_c S_c d_c i_c + q N_q S_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (17)$$

Donde:

C = Cohesión del suelo

γ = Peso específico del suelo

q = γD_f

B = Ancho de zapata

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensional que son únicamente funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ .

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

A continuación, se presentan las ecuaciones (18), (19) y (20), correspondientes a los factores de capacidad de carga:

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (18)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (19)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1)(1,4 \tan \phi) \quad (20)$$

Factores de forma

$$S_c = 1 + 0,2 K_p \frac{B}{L} \quad \text{para cualquier valor } \phi \quad (21)$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0,1 K_p \frac{B}{L} \quad \text{para } \phi > 10^\circ \quad (22)$$

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad \text{para } \phi = 0^\circ \quad (23)$$

Factores de profundidad

$$d_c = 1 + 0,2 \sqrt{K_p} \frac{D_f}{B} \quad \text{para cualquier valor } \phi \quad (24)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \sqrt{K_p} \frac{B}{L} \quad \text{para } \phi > 10^\circ \quad (25)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{para } \phi = 0^\circ \quad (26)$$

Factores de inclinación

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right)^2 \quad \text{para cualquier valor } \phi \quad (27)$$

$$i_y = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2 \quad \text{para } \phi > 0^\circ \quad (28)$$

$$i_y = 0 \quad \text{para } \phi = 0^\circ \quad (29)$$

Donde:

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

θ = Inclinación de la resultante en la vertical

L = Largo de la zapata

B = Ancho de zapata

3.2.6.4. Capacidad de carga admisible. Juárez y Rico, (2002), Llamado también capacidad de carga de trabajo, que es el valor con la que se diseñará la cimentación. Este valor será en el caso menor que la falla tal que se encuentre dentro de los márgenes de seguridad y así resolver los problemas y desviaciones de la construcción.

La capacidad de carga admisible es una fracción de la capacidad de carga última, esta fracción se obtiene de la división de la capacidad de carga última y el factor de seguridad (FS), este factor poseerá un valor mayor que uno.

3.2.7. Compactación del suelo

Juárez y Rico, (2006), menciona que la compactación del suelo es un proceso mecánico para hacerlo más firme y resistente, reduciendo el espacio entre sus partículas. A diferencia de la consolidación, que ocurre lentamente de forma natural, la compactación se aplica en obras como presas, carreteras o cimentaciones, especialmente cuando se trabaja con suelos sueltos o rellenos.

La compactación del suelo depende principalmente del contenido de agua y de la energía aplicada. Para garantizar buenos resultados, se hacen pruebas en laboratorio que imitan las condiciones del campo. Luego, estas condiciones se replican en obra con equipos reales y se verifica que la compactación cumpla con lo previsto en el proyecto.

3.2.7.1. Pruebas de compactación. Históricamente el primer método conocido es el debido a R. R. Proctor también llamado prueba de proctor estándar. Esta prueba simula la compactación en obra al golpear el suelo dentro de un molde cilíndrico de 4" (10,2 cm) de diámetro y 4,59" (11,7 cm) de altura, con un pisón específico de 5,5 libras (2,5 Kg). El suelo se coloca en tres capas, y cada una recibe 25 golpes desde una altura definida de 12" (30,5 cm). Así se puede medir la energía aplicada (E_e) que es de 12 300 libras. pie/pie³ (6 Kg cm/cm³) y entender cómo responde el suelo en condiciones reales. En la siguiente ecuación (30) se muestra la energía específica.

$$Ee = \frac{NnWh}{V} \quad (30)$$

Donde:

Ee = Energía específica

N = Número de golpes por cada

n = Número de capas de suelo

W = Peso del pisón

h = Altura de caída libre del pisón

V = volumen del suelo compactado

Se muestra el peso específico seco para el cálculo en la siguiente ecuación (31).

$$\text{Peso específico seco} = \frac{\text{Peso específico húmedo}}{(1 + \text{contenido de agua})} \quad (31)$$

De esta manera, Proctor desarrolló una prueba para estudiar cómo influye el contenido de agua en la compactación del suelo. Descubrió que hay una humedad óptima en la que se logra el máximo peso específico seco, y que, si se pasa de ese punto, la compactación empeora.

Sin embargo, en la práctica para los casos de compactaciones mayores la prueba de proctor estándar no lo representa adecuadamente. Por ello se creó la Prueba de Proctor Modificada, que usa más energía de compactación y permite alcanzar una mayor densidad, aunque con una humedad óptima más baja. También

existen variantes con menos energía para casos con equipos más ligeros, donde la densidad lograda es menor y la humedad óptima, mayor.

3.2.7.2. Factores influyentes en la compactación de suelos. La forma en que se prepara el suelo antes de compactarlo en laboratorio afecta los resultados. Si se parte de un suelo relativamente seco al que se le añade agua, se logra una mejor compactación que si se parte de un suelo húmedo que se va secando. Esto es especialmente notable en suelos finos.

Además, si el suelo no tiene tiempo suficiente para que la humedad se distribuya de manera uniforme, se generan diferencias en la compactación. Por eso, se recomienda dejar reposar el suelo al menos 24 horas después de agregarle agua.

También es importante usar muestras nuevas para cada punto de la curva de compactación, ya que reutilizar el mismo suelo puede alterar los resultados y hacerlos poco representativos.

Por último, cuando se trabaja con suelos que tienen partículas más grandes, debe usarse un molde más grande y ajustar los parámetros de compactación para mantener la misma energía. Así, se aseguran resultados válidos sin afectar la forma de la curva obtenida.

3.2.8. Normativas y estándares aplicables

Para la evaluación geotécnica de suelos potencialmente colapsables con

fines de cimentación de viviendas, es fundamental seguir las normativas y estándares establecidos tanto a nivel nacional como internacional, garantizando que los métodos de ensayo y análisis geotécnicos cumplan con los requisitos técnicos y de seguridad vigentes. A continuación, se presentan las normativas aplicables en esta investigación.

a. Norma Técnica Peruana (NTP). En Perú, la Norma Técnica Peruana, regula la clasificación de suelos y establece los métodos de ensayo para el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas. Esta normativa es fundamental para la caracterización de suelos y para garantizar que los ensayos realizados en laboratorio. Las normas NTP aplicadas en este trabajo incluyen:

- NTP 339.127 (ASTM D2216): Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.
- NTP 339.128 (ASTM D422): Método de ensayo para el análisis granulométrico.
- NTP 339.129 (ASTM D4318): Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
- NTP 339.134 (ASTM D2487): Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS)
- NTP 339.143 (ASTM D1556): Densidad in situ mediante el método

del cono de arena

- NTP 339.131 (ASTM D854): Método de ensayo del peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.
- ASTM C 127: Método de ensayo para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso.
- NTP 339.141 (ASTM D 1557): Método de ensayo de compactación Proctor modificado.
- NTP 339.163 (ASTM D5333): Método de ensayo normalizado para la medición del potencial de colapso del suelo.
- NTP 339.153 (ASTM D1194): Método de ensayo normalizado para la capacidad portante del suelo por carga estática y para cimientos aislados.

b. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). El Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE) establece los lineamientos para el diseño y construcción en suelos problemáticos. La norma E.050 de Suelos y Cimentaciones especifica los procedimientos y requisitos para evaluar riesgos geotécnicos en suelos susceptibles a colapsos, proporcionando los lineamientos para el diseño seguro de cimentaciones en zonas con suelos colapsables.

Estas normativas y estándares fueron seleccionados para asegurar que los procedimientos aplicados en la caracterización, y mitigación de suelos colapsables

cumplan con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos, brindando así una base sólida para los análisis y conclusiones de esta investigación.

3.3. Definición de términos básicos

- **Capacidad de carga**

Es la presión requerida para producir la falla de cimentación por corte (sin factor de seguridad). (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2020)

- **Cimentación**

Parte de una estructura que transmite la carga directamente al suelo. (Hoyos Patiño, 2012).

- **Cimentación superficial**

Tipo de cimentación en la que la relación entre la profundidad de desplante y el ancho de la base (Df/B) es menor o igual a 5. En este sistema, la base se apoya a poca profundidad porque no se requiere excavar grandes niveles para alcanzar un estrato capaz de soportar las cargas de la estructura. (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2020).

- **Clima**

Conjunto de condiciones meteorológicas características de esa región, representadas mediante estadísticas (media o promedio y su variabilidad de 30 años) a largo plazo (puede variar de meses a millones de años) de los

elementos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, precipitación, entre otras) en dicho lugar. (OMM & UNESCO, 2012).

- **Ensayo**

Conjunto definido de operaciones para la identificación medida y evaluación de una o más características de un material, producto, sistema o servicio cuyo resultado se expresa numéricamente. (Hoyos Patiño, 2012)

- **Intemperismo**

Sinónimo de meteorización, conjunto de factores externos que intervienen sobre una roca produciendo alteraciones mecánicas y químicas. (Dávila Burga, 2011).

- **Mecánica de suelos**

Terzaghi en su libro “Theoretical Soil Mechanics” define que la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica. (Juárez Badillo, 2006, p.28)

- **Muestra**

Porción de material que se toma para determinar las características o propiedades de una parte o de la totalidad del mismo. (Hoyos Patiño, 2012).

- **Roca**

Es el conjunto de minerales consolidados, que son originadas del enfriamiento del magma, consolidación y diagénesis de las partículas de roca provenientes de la roca pre-existentes y recristalización de las rocas pre-existentes. (Dávila Burga, 2011)

- **Suelo**

Es la cobertura superficial cementada o moderadamente cementada de la corteza terrestre, que ha sido originado por la alteración de los minerales de las rocas pre-existentes. (Dávila Burga, 2011)

Capítulo IV: Metodología de la investigación

4.1. Tipo y alcance de la investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que aboca el estudio en relación a los componentes fundamentales como los objetivos planteados, el problema y la metodología, se establece que es de tipo aplicada, ya que el objetivo de este estudio es resolver la caracterización geológica y geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas. Asimismo, se busca obtener datos de los suelos del terreno para evaluar la colapsabilidad y también aplicar en el cálculo de capacidad portante, lo cual tiene una implicación directa en la cimentación y otras estructuras.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación hace referencia al grado de profundidad con que se aborda un tema de investigación. En base a la naturaleza del estudio, el nivel de investigación es descriptivo porque se busca caracterizar las propiedades del suelo a través de los ensayos realizados. A su vez es exploratorio debido a que la ceniza volcánica de la zona no ha sido ampliamente estudiada lo que implicaría una caracterización de sus particularidades físicas y mecánicas para comprender su comportamiento. En este nivel se busca describir con precisión las características

del suelo de ceniza volcánica sin necesariamente manipular las variables.

4.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental porque no se manipulan variables, sino que se observan, miden y analizan las propiedades físicas y mecánicas del suelo mediante ensayos.

4.2. Población y muestra

4.2.1. Población

La población está representada por la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, así como el entorno geográfico adyacente que conforma el área de influencia directa del proyecto. Para objeto de estudio se delimitó un área de 2.22 Ha.

4.2.2. Muestra

La muestra está conformada por las siete calicatas y una trinchera que se han realizado de forma distribuida en el área de estudio, la cual está compuesta por suelo volcánico, donde se llevará a cabo la cimentación de las viviendas en el distrito de Calana.

4.3. Etapas de la investigación

4.3.1. Trabajos de pre campo

En esta etapa se determina las medidas necesarias para cumplir con los objetivos planteados mediante la recopilación de información bibliográfica (libros, publicaciones, revistas), actividades de investigación, planificación de trabajo y técnicas e instrumentos para recolección de datos.

- Revisión de información previa y bibliográfica del tema de investigación, en bibliotecas, internet, tesis de maestría, artículos e información del INGEMMET como boletines y cartas geológicas.
- Planificación de la cantidad y ubicación de calicatas en el área de estudio para obtener muestras representativas para el cumplimiento de los objetivos planteados.
- Selección de métodos de ensayos geotécnicos y selección de equipos y materiales necesarios para los ensayos in situ y laboratorio.
- Planificación del levantamiento geológico, geomorfológico y geotécnico del área de estudio.
- Planificación de aspectos logísticos como el transporte, permisos de accesos al área, y contactos con posibles laboratorios cercanos.

4.3.2. Trabajo de campo

Las actividades de campo que se desarrollarán en el terreno de estudio son los siguientes:

- Identificación de la zona correspondiente de la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, en el distrito de Calana – Tacna.
- Reconocimiento e interpretación de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

Fotografía 1:

Inspección y reconocimiento de unidades geomorfológicas en campo



Nota: Fotografía tomada durante la inspección en campo en la zona de estudio, mostrando la identificación y caracterización preliminar de las unidades geomorfológicas.

Fotografía 2:

Inspección y reconocimiento del depósito tecnógeno en campo



Nota: Fotografía tomada durante la inspección en campo en la zona de estudio, mostrando el reconocimiento de las características del depósito tecnógeno.

Fotografía 3:

Caracterización del depósito eluvial



Nota: Fotografía tomada en la zona de estudio mostrando el depósito eluvial (cubierta superficial) durante la inspección de campo.

- Realización de excavaciones de calicatas y trinchera en los puntos seleccionados y obtención de muestras de suelo para ensayos de laboratorio. De acuerdo con la norma E.050 para habilitaciones urbanas de viviendas unifamiliares, se establece un mínimo de 3 calicatas por hectárea. Considerando que el área de estudio es de 2.2 hectáreas, se ejecutaron un total 8 excavaciones distribuidas estratégicamente.
- Determinación de la densidad in situ mediante el método de cono de arena, en las calicatas, para conocer la compacidad del suelo en condiciones naturales.

Fotografía 4:

Determinación de la densidad in situ en la calicata C-01



Nota: Ejecución del ensayo de la densidad in situ en la calicata C-01, utilizada para caracterizar las propiedades físicas del suelo.

- Documentación visual de los perfiles y características observables del suelo y de las estructuras geológicas en cada sitio
- Recopilación de datos sobre los tipos de suelo y su distribución de profundidad, lo cual será empleado para los cálculos posteriores de la evaluación de la colapsabilidad y capacidad de carga.

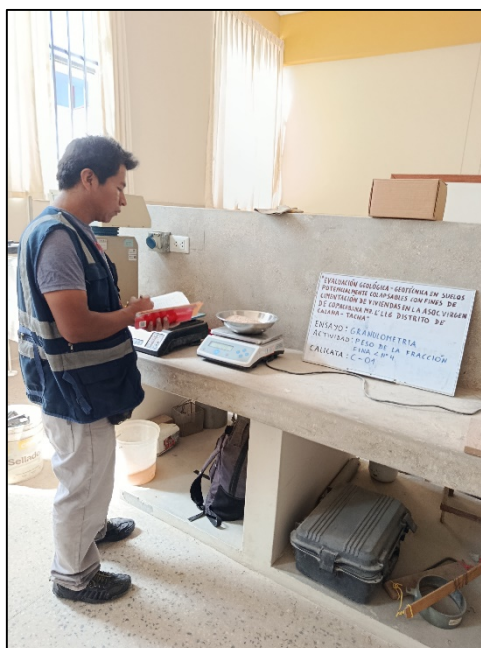
4.3.3. Ensayos de laboratorio

Los ensayos que se realizarán para la finalidad de estudio son:

- Ensayo de contenido de humedad: Determina la humedad presente en el suelo en el momento de la extracción de la muestra.
- Ensayo de análisis granulométrico: Determina la distribución de tamaño de partículas en las muestras de suelo, lo cual ayuda a clasificar el suelo y entender su estructura.

Fotografía 5:

Determinación granulométrica de la muestra de la calicata C-01 en laboratorio



Nota: Ensayo granulométrico realizado en el laboratorio con la muestra de la calicata C-01, siguiendo procedimientos estandarizados de mecánica de suelos.

- Ensayo de límites de consistencia: Evaluación del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), para determinar la plasticidad del suelo
- Ensayo de densidad in situ: Se realiza la densidad natural del suelo tomada bajo condiciones reales en campo.
- Ensayo de corte directo: Este ensayo mide la resistencia al corte del suelo, lo cual es fundamental para analizar su capacidad de soporte y

estabilidad. La resistencia al corte se utiliza en los cálculos de capacidad de carga y permite evaluar cómo reaccionará el suelo bajo las cargas de la cimentación.

Fotografía 6:

Ensayo de corte directo de la muestra de trinchera T-01a



Nota: Ensayo de corte directo realizado en el laboratorio de mecánica de suelos sobre la muestra de la trinchera T-01a, siguiendo procedimientos estandarizados de mecánica de suelos para determinar los parámetros de cohesión y ángulo de fricción.

- Ensayo de colapso en suelos: Este ensayo simula la saturación del suelo y permite medir el potencial de colapso del suelo bajo carga. Se evalúa el cambio volumétrico que experimenta el suelo cuando se satura, un factor crucial para los suelos colapsables.

- Ensayo de Proctor modificado: Determina la máxima densidad seca y su contenido óptimo de agua de un suelo sometido bajo compactación empleando una energía elevada.

Fotografía 7:

Ensayo de compactación Proctor modificado de la muestra de trinchera T-01a



Nota: Ensayo de proctor modificado realizado en laboratorio sobre la muestra de la trinchera T-01a, para determinar densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad.

La verificación se realizó con los ensayos de Edómetro y Proctor ya realizados

4.3.4. Trabajo de gabinete

En esta última etapa se recopilaron los datos obtenidos de los trabajos en campo y ensayos de laboratorio basados en la Norma Técnica Peruana (NTP) para el proceso y análisis respectivo.

- Análisis de los datos obtenidos de los ensayos de campo y ensayos de laboratorio.
- Elaboración de perfiles estratigráficos y secciones geotécnicas que muestren la disposición y características de los estratos del suelo en profundidad, basados en la información recopilada en las calicatas.
- Se emplea para la clasificación del suelo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- A partir de los datos obtenidos en los ensayos de colapsabilidad, se determina el índice de colapsabilidad de cada muestra y su clasificación en función de su susceptibilidad a colapsar.
- Se realiza el cálculo de capacidad portante de suelos integrando los datos de resistencia al corte, densidad y otros parámetros de las muestras. Para ello, se emplea el método clásico de Terzaghi, adaptado a las características del suelo local, para el cumplimiento de los objetivos planteados.

- Elaboración de mapas geológicos y geomorfológicos que representen las unidades respectivas identificadas en el área de estudio y su distribución.
- Elaboración del mapa geotécnico
- Para la realización de los planos y cálculos se usaron los programas de hoja de cálculo Excel, AutoCAD, ArcGIS y Google Earth para la obtención del resultado final.

4.4. Material a utilizar

4.4.1. Material de campo

Los materiales que emplearon para los trabajos en campo son:

- GPS (Marca Garmin)
- Cámara fotográfica
- Pixa
- Cinta métrica
- Formatos de registro
- Plumón acrílico e indeleble y pizarra acrílica
- Libreta de campo, lápices y lapiceros.

- Protactor
- Equipo para las ejecuciones de calicatas

4.4.2. Información geográfica y elaboración de planos

Para la elaboración de los planos y mapas presentados en los anexos, se utilizaron las siguientes fuentes de cartografía base:

- Mapas regionales: Se empleó cartografía digital proveniente del Geocatmin – Ministerio de Energía y Minas del Perú, proyectada en UTM, Datum WGS84, zona 19S. Esta información sirvió como referencia para la ubicación de unidades geológicas, geomorfológicas y redes de transporte en el área de estudio. La información fue procesada y adaptada a escala del proyecto mediante ArcGis.
- Planos, mapas locales y topografía de detalle: Para la presentación precisa del terreno y las calicatas, se realizó mediante el levantamiento topográfico con dron por Geociencias e Ingeniería E.I.R.L., obteniéndose, perfiles y mapas geotécnicos del área de estudio.

Todos los planos son elaboración propia, basados en las fuentes mencionadas, garantizando que la información geográfica utilizada respalda los análisis geológicos y geotécnicos presentados en la tesis

Capítulo V: Evaluación geológica – geotécnica en suelos de ceniza volcánica potencialmente colapsables

5.1. Aspectos climatológicos

Las condiciones climáticas desempeñan un papel importante, influenciando en el contenido de humedad, la estructura y la estabilidad de los suelos. La interacción entre los factores climatológicos y el suelo pueden afectar directamente su colapsabilidad y su capacidad portante, especialmente bajo variaciones de humedad que pueden inducir cambios en la estructura del suelo y, en consecuencia, en su comportamiento mecánico.

En el presente apartado se da a conocer las condiciones climáticas predominantes en la zona de estudio, incluyendo registros históricos de temperatura, precipitación y humedad relativa.

De acuerdo con la clasificación climática de Warren Thornthwaite y SENAMHI (2020), el clima de la zona de estudio se clasifica como “Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Templado. E(d)B’”, es el clima predominante en la ciudad de Tacna y se encuentra por toda la costa del departamento. El clima de esta región está fuertemente influenciado por el Anticiclón del Pacífico Sur, así como por factores oceánicos y locales.

Para la elaboración de este capítulo, se utilizan datos climatológicos de la

estación meteorológica convencional Calana del SENAMHI, correspondientes a un periodo de cinco años, desde el 2019 al 2023. Los datos incluyen información sobre las temperaturas máxima y mínima, la humedad relativa máxima, mínima y promedio y la precipitación total mensual.

5.1.1. Temperatura

De acuerdo a los datos de la estación Calana existe variaciones de temperatura bajas durante los cinco años, desde el 2019 al 2023, alcanzando la temperatura máxima media en el mes de febrero de 28,52 °C y la temperatura mínima media en el mes de julio con 7,70 °C. (Ver tabla 1 y 2)

La temperatura media mensual presenta variaciones mínimas y constantes con un promedio de temperatura anual de 17,95 °C.

Tabla 9

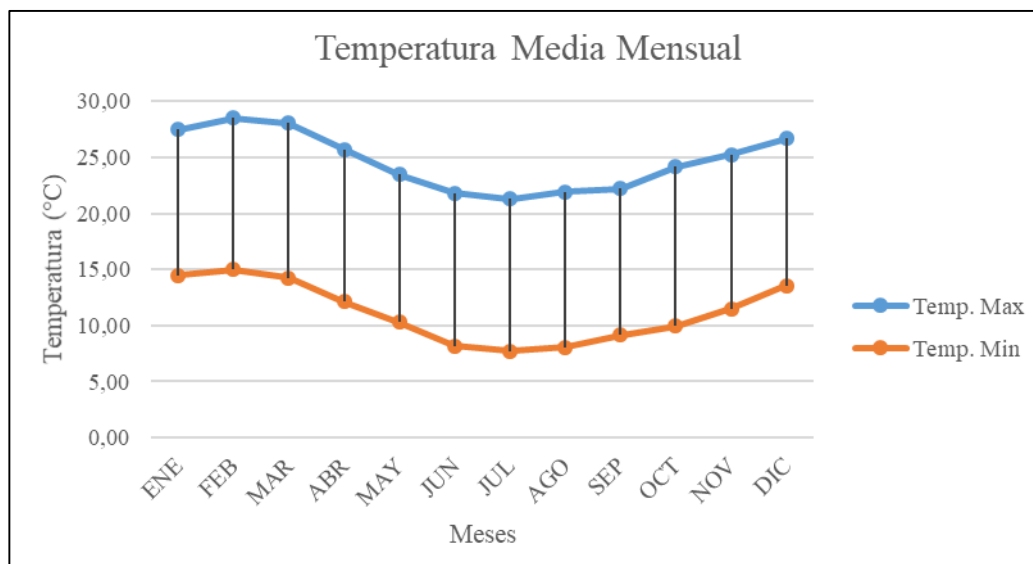
Temperatura máxima media (°C)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
2019	26,87	28,80	28,10	25,55	23,37	21,53	20,30	21,90	21,67	23,39	25,29	26,97	293,75	24,48
2020	27,28	28,93	28,00	-	-	-	21,39	21,13	22,27	23,59	24,81	26,23	223,63	24,85
2021	27,40	27,75	27,41	24,66	23,48	21,53	21,13	21,63	21,69	24,01	24,64	25,66	290,99	24,25
2022	27,59	27,64	27,28	24,93	23,41	20,98	20,65	21,63	21,37	24,01	25,75	27,37	292,59	24,38
2023	28,23	29,51	29,50	27,73	23,77	23,19	22,93	23,34	23,95	25,92	25,67	27,22	310,96	25,91
Total	137,37	142,62	140,30	102,87	94,02	87,24	106,39	109,62	110,97	120,91	126,16	133,45		
Promedio	27,47	28,52	28,06	25,72	23,50	21,81	21,28	21,92	22,19	24,18	25,23	26,69		

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.

Tabla 10*Temperatura mínima media (°C)*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
2019	15,51	16,14	13,43	12,58	10,12	8,73	7,78	7,50	9,31	9,95	12,74	13,74	137,53	11,46
2020	15,98	15,99	15,75	-	-	-	6,71	8,39	9,27	11,14	10,80	13,34	107,37	11,93
2021	13,98	13,99	13,32	12,01	10,52	8,08	7,37	8,09	8,92	9,16	10,79	13,41	129,64	10,80
2022	13,57	13,09	13,23	10,69	8,83	7,30	7,37	6,40	7,48	7,90	10,86	13,24	119,96	10,00
2023	13,34	15,92	15,58	13,21	11,80	8,53	9,27	9,80	10,85	11,65	12,37	13,97	146,29	12,19
Total	72,38	75,12	71,31	48,48	41,27	32,64	38,51	40,18	45,83	49,81	57,57	67,69		
Promedio	14,48	15,02	14,26	12,12	10,32	8,16	7,70	8,04	9,17	9,96	11,51	13,54		

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.**Figura 4:***Temperatura media mensual del periodo 2019 - 2023**Nota:* Elaboración propia en base a los registros de la estación Calana (SENAMHI).

5.1.2. Humedad relativa

(Aguilar Rodríguez, 2004), conceptualiza la humedad relativa como el porcentaje de vapor de agua que contiene el aire con respecto al que tendría si estuviera saturado. Según la estación Calana, en la zona se registra la humedad relativa máxima en los meses de mayo hasta septiembre con valores que oscilan desde 86,90 al 88,48%, siendo en mes de junio con el registro más alto y la más baja se presenta en el mes de febrero con 79,00%. El valor máximo de la humedad relativa mínima se registra en mes de junio con 72,80% y el valor mínimo se da en el mes de octubre con 62,26%

Tabla 11

Humedad relativa media

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
2019	75,45	77,12	76,35	77,83	80,13	81,85	82,04	78,11	80,36	77,45	76,47	75,96	939,13	78,26
2020	77,56	76,61	78,72	-	-	-	77,53	80,87	77,89	76,90	74,22	74,15	694,45	77,16
2021	73,99	70,87	74,37	79,04	80,83	81,22	80,74	80,98	80,43	76,47	75,28	75,74	929,95	77,50
2022	71,19	71,52	74,04	77,20	78,47	80,27	82,49	79,90	79,34	74,81	72,87	71,84	913,92	76,16
2023	68,57	71,78	72,27	75,13	81,64	80,44	80,15	80,52	79,21	75,01	75,78	71,55	912,03	76,00
Total	366,76	367,89	375,75	309,20	321,07	323,77	402,95	400,37	397,24	380,64	374,62	369,23		
Promedio	73,35	73,58	75,15	77,30	80,27	80,94	80,59	80,07	79,45	76,13	74,92	73,85		

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.

Tabla 12*Humedad relativa máxima*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
2019	87,50	82,90	80,20	82,20	85,00	90,40	91,60	82,80	88,60	87,40	80,40	80,60	1019,60	84,97
2020	91,80	81,00	84,90	-	-	-	82,50	94,40	83,80	84,40	79,50	86,70	769,00	85,44
2021	84,00	77,20	78,80	83,90	91,50	89,10	90,40	87,50	89,70	84,70	79,40	82,60	1018,80	84,90
2022	78,50	77,80	79,40	82,80	84,70	90,30	88,80	88,40	87,80	79,90	79,30	80,20	997,90	83,16
2023	80,20	76,10	77,40	78,80	86,40	84,10	85,00	88,00	88,30	81,30	81,80	79,20	986,60	82,22
Total	422,00	395,00	400,70	327,70	347,60	353,90	438,30	441,10	438,20	417,70	400,40	409,30		
Promedio	84,40	79,00	80,14	81,93	86,90	88,48	87,66	88,22	87,64	83,54	80,08	81,86		

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.

Tabla 13*Humedad relativa mínima*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	Promedio
2019	68,40	66,80	71,20	73,00	70,20	73,60	77,00	66,80	73,40	63,10	70,30	69,10	842,90	70,24
2020	71,20	71,20	73,90	-	-	-	58,40	74,90	69,70	58,20	63,90	68,50	609,90	67,77
2021	69,20	60,90	68,80	69,90	61,70	68,80	65,20	68,80	68,70	59,90	61,90	67,30	791,10	65,93
2022	63,10	67,30	63,00	67,00	73,20	71,90	77,10	66,30	72,90	64,20	65,90	59,20	811,10	67,59
2023	60,50	66,00	61,30	69,20	77,50	76,90	70,50	69,80	69,30	65,90	71,20	62,80	820,90	68,41
Total	332,40	332,20	338,20	279,10	282,60	291,20	348,20	346,60	354,00	311,30	333,20	326,90		
Promedio	66,48	66,44	67,64	69,78	70,65	72,80	69,64	69,32	70,80	62,26	66,64	65,38		

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.

5.1.3. Precipitación

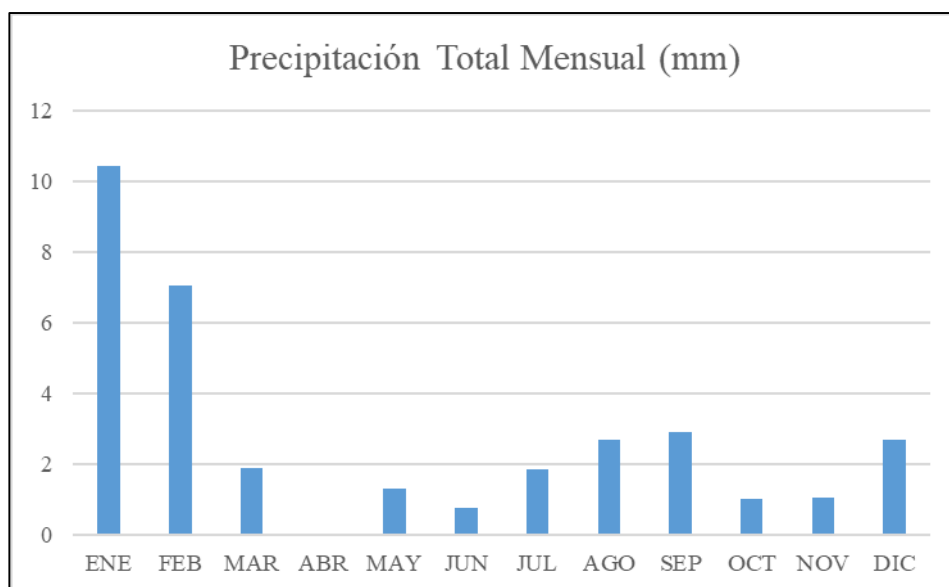
Se obtiene el registro de precipitaciones diarias para un periodo de 5 años, desde el 2019 hasta 2023. La precipitación total mensual máxima se registra en los meses de enero y febrero con un valor de 10,44 y 7,04 mm respectivamente, y el más bajo se tiene en el mes de abril con 0,04 mm, en el resto de todo el año la

precipitación es relativamente baja. (Ver tabla 14)

El año 2020 ha sido el periodo con mayor cantidad de lluvias registradas, llegando a tener una precipitación total anual de 71,30mm. En el año 2022 se registra menos lluvias, obteniéndose una precipitación total anual de 10,60mm, (Ver tabla 15). En las figuras 5 y 6 se presentan gráficamente los datos de la precipitación total mensual y la precipitación total anual de la estación Calana del periodo 2019 al 2023.

Figura 5:

Precipitación total mensual del periodo 2019 - 2023



Nota: Elaboración propia en base a los registros de la estación Calana (SENAMHI).

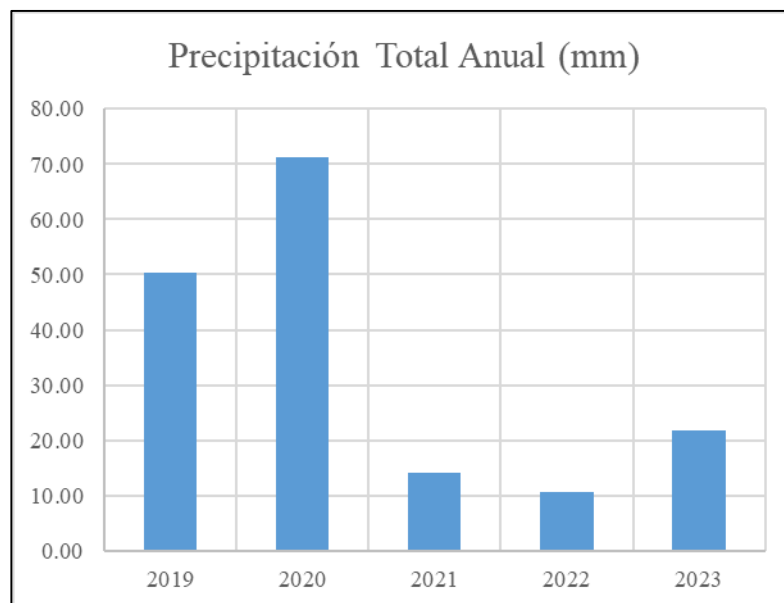
Tabla 14*Precipitación total mensual (mm)*

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2019	20,50	10,20	0,00	0,10	1,20	1,30	5,70	1,10	5,00	3,10	2,10	0,10
2020	25,00	23,70	5,00	0,00	0,00	0,00	0,70	4,30	0,40	1,10	0,30	10,80
2021	0,00	0,00	0,20	0,00	3,80	0,10	1,50	3,50	1,90	0,60	0,00	2,40
2022	0,60	1,30	4,20	0,00	0,20	1,90	0,10	0,10	1,90	0,30	0,00	0,00
2023	6,10	0,00	0,00	0,00	1,30	0,40	1,30	4,40	5,30	0,00	2,80	0,10
Total	52,20	35,20	9,40	0,10	6,50	3,70	9,30	13,40	14,50	5,10	5,20	13,40
Max	25,00	23,70	5,00	0,10	3,80	1,90	5,70	4,40	5,30	3,10	2,80	10,80
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,40	0,00	0,00	0,00
Promedio	10,44	7,04	1,88	0,02	1,3	0,74	1,86	2,68	2,9	1,02	1,04	2,68
σ	11,60	10,24	2,50	0,04	1,51	0,83	2,22	1,96	2,15	1,23	1,32	4,65

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.**Tabla 15***Precipitación total anual (mm)*

AÑO	Sumatoria	Promedio	Max	Min	σ
2019	50,40	4,2	20,50	0,00	5,94
2020	71,30	5,94	25,00	0,00	9,17
2021	14,00	1,17	3,80	0,00	1,43
2022	10,60	0,88	4,20	0,00	1,27
2023	21,70	1,81	6,10	0,00	2,27

Nota: Datos obtenidos del SENAMHI.

Figura 6:*Precipitación total anual del periodo 2019 - 2023*

Nota: Elaboración propia en base a los registros de la estación Calana (SENAMHI).

5.2. Marco geomorfológico

5.2.1. Geomorfología regional

Según (Acosta, Mamani, Alván , Oviedo, & Rodriguez, 2011), la morfología de la ciudad de Tacna es el resultado de la interacción de múltiples procesos geodinámicos, además de estar condicionada por las características estructurales, litológicas y mecánicas de las unidades presentes.

Regionalmente, la zona de estudio corresponde a la unidad geomorfológica regional denominada valle, esta forma parte de un contexto morfológico más

amplio en la que también se encuentran las planicies costaneras, ladera oeste de la cordillera occidental y cordillera occidental, las cuales contribuye a definir el marco geomorfológico regional.

Las planicies costaneras se caracterizan principalmente por la topografía suave y uniforme. Por otro lado, la ladera oeste de la cordillera occidental se distingue por un cambio abrupto de la topografía, donde comienzan a dominar las altas cumbres de la cordillera. Finalmente, la cordillera occidental es identificable por sus fuertes pendientes. La superficie Huaylillas constituye una unidad geomorfológica relevante dentro de esta región (Wilson & García, 1962). Adicionalmente, los valles y terrazas conforman otros accidentes geomorfológicos de igual relevancia.

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas regionales presentes:

a. *Planicies costaneras.*

Esta unidad posee una pendiente regional de 0,5% a 1% cuyo relieve se presenta de manera ondulado, como consecuencia de la incisión de pequeñas e importantes quebradas. La ciudad de Tacna y poblados de Pachia y calientes se ubican sobre esta unidad.

b. *Ladera oeste de la cordillera occidental.*

Se caracterizan regionalmente por las pendientes moderadas a fuertes, constituidas por rocas volcánicas y sedimentarias con elevaciones desde 1200 msnm hasta 4200 msnm. El relieve de esta unidad fue resultado de la acción erosiva de las escasas precipitaciones pluviales y las lluvias *intensas en la cordillera occidental.*

c. *Cordillera occidental.*

La unidad geomorfológica se orienta NO-SE y comprende antiguos aparatos volcánicos inactivos, como los nevados Barroso y El Fraile, con altitudes superiores a 5700 m.s.n.m. Presenta relieve abrupto, bajas temperaturas y difícil acceso. Hacia el noreste, destacan planicies glaciales que descienden hacia la laguna Blanca, zona baja y pantanosa ubicada cerca de la frontera con Chile.

d. *Superficie Huaylillas.*

Esta unidad obedece a criterio de geoformas, y presentan pendientes que varía entre 7 y 10% con características de relieve ondulado y rugoso. Se considera importante debido a la extensión y gran acumulación sucesiva de importantes espesores de tobas y flujos piroclásticos. La conservación de esta unidad es evidente debido a la

poca erosión registrada en la zona por las escasas lluvias, sin embargo, los valles recientes son producto de la acción hídrica que erosionaron a estos materiales. Esta unidad se observa en la ciudad de Tacna principalmente sobre los cerros Intiorko y Arunta.

e. Valles.

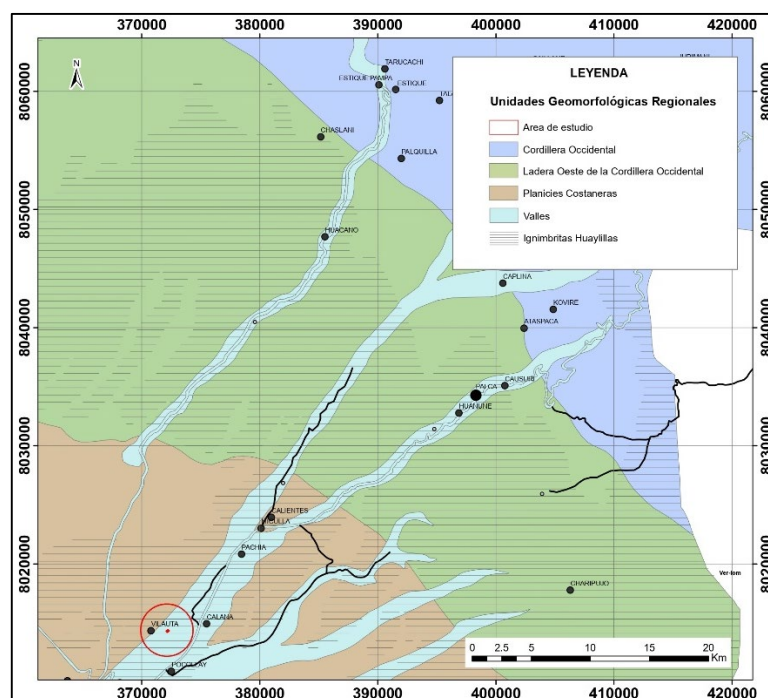
La ciudad de Tacna yace sobre el valle Caplina, que específicamente muestra un lecho plano cada vez más extenso conforme se acerca a la ciudad. Estos valles presentan pendientes suaves con laderas de pendientes moderadas a fuertes.

f. Terrazas.

Son superficies planas cuyos pendientes fueron moldeados por el transcurso de un río. Se observan en los bordes de quebradas, particularmente en los bordes del río Caplina entre el cerro Arunta e Intiorko. El mejor desarrollo de terrazas se observa cerca de los poblados Calientes y Pachia.

Figura 7:

Unidades geomorfológicas de la zona de Tacna



Nota: Figura reproducida y adaptada del diseño de Acosta, Mamani, Alván , Oviedo, & Rodríguez (2011).

5.2.2. Geomorfología local

La zona de estudios, se localiza dentro de una amplia unidad geomorfológica regional de tipo valle. Esta unidad alberga un extenso depósito de ceniza volcánica perteneciente a la formación Pachia, originado por antiguos procesos volcánicos.

A continuación, se describen localmente las siguientes unidades morfológicas:

a. Lomada.

En el ámbito local se encuentra ocupando una superficie amplia y es caracterizada por un relieve suavemente ondulado y una altimetría moderada. Esta forma se asocia a procesos de modelado antiguos, posiblemente vinculado a erosión diferencial.

Fotografía 8:

Reconocimiento de campo de unidades geomorfológicas locales: Lomadas



Nota: Fotografía tomada durante la inspección de campo, mostrando las lomadas como parte de la caracterización geomorfológica local.

b. Cauce natural.

Esta unidad se localiza entre las laderas de las lomadas formadas por la propia ceniza consolidada, y está definido como una depresión que canaliza escorrentías superficiales. La forma del cauce sugiere un proceso erosivo fluvial. En conjunto, esta unidad constituye una forma negativa del relieve, funcional dentro del sistema de drenaje local.

Fotografía 9:

Vista transversal del cauce natural con presencia de relleno artificial.



Nota: Sección transversal del cauce natural en la zona de estudio, mostrando la presencia de un relleno artificial a lo largo del cauce.

c. Cauce modificado.

A lo largo del cauce natural previamente identificado, se ha constatado un tramo modificado por intervención humana, donde se ha realizado un relleno parcial empleando material de la misma ceniza volcánica. Esta intervención ha alterado la morfología original del cauce, reduciendo su profundidad. Como resultado se ha generado una superficie de características semiplanas, que refleja la dinámica geomorfológica intervenida, donde se superponen procesos naturales con acciones humanas recientes.

Fotografía 10:

Cauce modificado con relleno superficial.



Nota: Fotografía tomada mostrando el cauce modificado, con relleno que cubre el cauce natural, y estructuras de contención temporales utilizados en la zona.

d. Área de construcción urbana.

Son espacios urbanos en crecimiento donde se desarrollan construcciones urbanas o de infraestructura. Pertenecen a esta unidad las viviendas prefabricadas, construcciones livianas (viviendas de tipo ligero) y estructura con cubierta ligera (capilla con techumbre metálica).

Fotografía 11:

Vista aérea de la zona de estudio con estructuras completas e incompletas.



Nota: Fotografía capturada mediante dron mostrando las estructuras construidas y los perímetros de estructuras incompletas en la zona de estudio.

5.3. Marco geológico

5.3.1. Geología regional

De acuerdo con (Acosta, Mamani, Alván , Oviedo, & Rodriguez, 2011), el modelo actual de la ciudad de Tacna es el resultado de un largo proceso geodinámico, influenciado por esfuerzos tectónicos internos y esfuerzos externos. Su formación se remonta a la Cuenca Arequipa, que ejerció como recipiente de extensos depósitos sedimentarios que dieron origen a diversas unidades geológicas. Entre ellas cronoestratigráficamente, las formaciones geológicas se agrupan en el siguiente orden, desde la más antigua hasta la más reciente: el Grupo Ambo, la Formación Chocolate, la Formación Socosani, el Grupo Yura, el Grupo Toquepala, la Formación Moquegua, la Formación Huaylillas, la Formación Magollo, la Formación Maure, el Conglomerado Calientes, la Toba Pachia, el Grupo Barroso y los depósitos cuaternarios.

La Formación Chocolate comenzó con el primer evento volcánico representado por el desarrollo del Arco Volcánico Chocolate. De manera similar, el Grupo Toquepala se originó por la activación del Arco Volcánico Toquepala, que se dio casi a fines del Cretácico Superior hasta el Paleoceno. Finalmente, la Formación Huaylillas se desarrolló a partir del Arco Volcánico Huaylillas.

A partir del eoceno medio ocurre el levantamiento de los andes centrales produciendo la formación de la Cuenca Moquegua con dirección promedio NO-SE.

Esta cuenca alberga sedimentos provenientes de la erosión de la emergente cordillera occidental en ambientes fluviales y lacustres. Las ignimbritas del Arco Volcánico Huaylillas tiene aparición en la Cuenca Moquegua y la Cuenca Intramontañosa Maure, esta última formada en el Oligoceno por la actividad del sistema de Fallas Incapuquio. Todas estas formaciones y grupos se encuentran en la región de Tacna.

(Palacios Moncayo, Sanchez Fernandez, & Herrera Romero, 1995), en el Plioceno, mientras la cordillera de los andes se elevaban, los valles se profundizaban bajo un control estructural marcado por fallas longitudinales con orientación NO-SE y fallas transversales NE-SO (valles tributarios). Durante el Pleistoceno, el levantamiento activo de la Cordillera de los Andes causó deformaciones locales. La glaciación erosionó intensamente las zonas altas de las cordilleras y transportó grandes volúmenes de sedimentos hacia las áreas bajas, formando piedemontes y abanicos aluviales. En el sur, la actividad volcánica persiste después de la glaciación, emitiendo cenizas, lapilli y flujos de lava que rellenan valles y superficies ya formadas. Finalmente, en el holoceno se llega a la actual fisonomía, como se observa en la ciudad de Tacna, con mayor erosión fluvial y acumulación de sedimentos, mientras el viento deposita arenas en las áreas desérticas de la costa.

Seguidamente se describe las secuencias estratigráficas que corresponde a la ciudad

de Tacna:

a. *Formación Moquegua Superior.*

Los primeros estudios de esta formación fueron realizados por Adams (1906) quien inicialmente describió estas secuencias como Formación Moquegua. Steinmann (1929) la dividió en dos unidades Moquegua Inferior y Moquegua Superior. Marocco et al, (1985) empieza a denominar específicamente estas unidades como formación Moquegua Inferior (entre 40 y 30 Ma) y Formación Moquegua Superior (entre 30 y 24 Ma), y menciona que en los cuadrángulos de Pachia y Palca se presencian únicamente sedimentos de la formación Moquegua superior.

Esta formación aflora en las laderas de los valles infrayaciendo a los volcánicos de la Formación Huaylillas, también se observan en la Quebrada Viñani y Cauñani-Tembladera. (Wilson y García, 1962), el techo de esta formación termina en discordancias paralelas con las capas de ignimbritas de la Formación Huaylillas.

La Formación Moquegua se compone principalmente por materiales detríticos que disminuyen de tamaño de grano hacia el suroeste. En las zonas proximales es evidente la granocrescencia de la sucesión. La edad establecida de la formación es el Oligoceno.

b. Formación Huaylillas.

Wilson y García, (1962), nombraron esta secuencia de sedimentos como Formación Huaylillas. Esta formación cubre gran parte de la superficie de la región de Tacna y se encuentra en la cordillera de la costa, las planicies costaneras y la cordillera occidental. La datación de esta formación corresponde al mioceno inferior a medio. Los estudios del INGEMMET consideran esta formación dividida en tres unidades, cuyas sucesiones constan de eventos sedimentarios y volcánicos con características propias.

- Miembro Inferior: Esta secuencia se halla directamente sobreyacente a los sedimentos de la Formación Moquegua Superior en discordancia paralela (Wilson y García, 1962). Estos sedimentos comprenden tobas rosáceas con abundantes fragmentos líticos y fragmentos de pómez, intercalados con niveles de conglomerados con clastos de roca sedimentaria y volcánico subredondeados.
- Miembro Medio: Comprende tobas riolíticas y riodacíticas de color rosáceo, con fragmento de pómez y líticos, intercalados con delgados niveles e areniscas misivas de coloración verdosa.
- Miembro Superior: Según Flores & Sempere (2002) y Flores et al. (2004) exhiben el miembro superior como una secuencia volcano-

sedimentarias, conglomerados intercalados con delgados niveles de limolitas, areniscas y tobas riolíticas a riodacíticas de color rosáceo.

c. *Formación Millo.*

En el trabajo de Acosta et al. (2011), da a conocer que la Formación Millo se hallan en los valles y quebradas más jóvenes del cuadrángulo Pachia. Estos conglomerados corresponden a depósitos aluviales que conforman la evidencia de fuerte levantamiento de la cordillera occidental. Se estima que su deposición ocurrió entre el Mioceno Superior al Plioceno Inferior (10 a 2,7 Ma).

d. *Depósitos de cenizas volcánicas.*

Litológicamente está comprendida por una sola capa de cenizas volcánicas, en años antiguos estos depósitos rellenaban el valle de Tacna, la cual fue erosionada por el río Caplina, presentándose actualmente a manera de lomas con formas de grandes lenguas en dirección al largo del valle. Es de coloración rosácea con abundante pómez y fragmentos angulosos de rocas volcánicas andesíticas. Estos depósitos datan del Holoceno y afloran parcialmente en los distritos de Alto de la Alianza, Ciudad Nueva y Calana. (INDECI, 2004).

e. Depósitos Cuaternarios.

- Depósito eluvial: Se origina por la intensa meteorización física y química de la roca madre in situ, conservando en parte su estructura original. Regionalmente, forman una cubierta superficial derivada de la alteración de las tobas de la Formación Huaylillas.
- Depósitos aluviales: Estos depósitos comprenden conglomerados, arenas y arcillas inconsolidadas que irregularmente se intercalan entre ellas. Los materiales de aporte provienen generalmente desde el este o partes altas conformadas por cordillera occidental. Generalmente se produce por el transporte del material a través de las quebradas. La potencia de estos depósitos varía desde unos metros hasta decenas de metros.
- Depósitos eólicos: Están compuestos de acumulaciones de arenas con granos de feldespatos y cuarzo. Una importante acumulación se observa al sur del cerro Magollo. Esta acumulación es debido al cambio abrupto de la topografía que impide el desplazamiento de los vientos que proceden del mar.

5.3.2. Geología local

El valle de Tacna se ha formado a través de acumulación de sedimentos

aluviales y fluviales, junto con la influencia de eventos volcánicos que han dejado una huella significativa en la composición de los suelos y las características del terreno.

En la zona de estudio, la geología local es diversa y se caracteriza por la presencia de formaciones volcánicas y sedimentarias que datan de diversos periodos geológicos, como el mioceno, plioceno y el cuaternario.

a. *Tobas Pachía.*

La toba Pachía es una capa que se caracteriza principalmente por su color rosado. Esta capa contiene fragmentos de pómez, que son rocas volcánicas ligeras y porosas, líticos, que son fragmentos de rocas más duras, y cristales de cuarzo y biotita. Los depósitos de la toba Pachía son deleznales, lo que significa que son frágiles y se desintegran fácilmente. Los principales afloramientos de esta toba se encuentran en los valles de la región, donde estos depósitos se han acumulado y erosionado debido a procesos erosivos. Posee una datación de 2,7 Ma. (flores et al. 2004).

Fotografía 12:

Exposición de las tobas Pachia en la trinchera T-01a



Nota: La trinchera T-01a permite la caracterización de las tobas Pachía y el análisis estratigráfico de las unidades geológicas locales.

Fotografía 13:

Vista aérea de las tobas Pachia y la trinchera T-01a



Vista aérea de las tobas Pachia y la trinchera T-01a

Nota: Observación de las tobas Pachia y la trinchera T-01a, expuestas tras la remoción del depósito eluvial que originalmente las cubría.

b. Depósito eluvial.

Esta unidad geológica se caracteriza por su disposición a manera de cobertura sobreyaciendo a las tobas Pachia en toda su extensión. Su presencia refleja un ambiente con procesos limitados de erosión y transporte, permitiendo que los residuos del desgaste se acumulen en su lugar de origen. Esta unidad deriva de la desintegración de la roca madre, sin que los materiales hayan sido transportados por agentes externos como el agua o viento.

Fotografía 14:

Depósito eluvial sobre cauce natural.



Nota: Observación del depósito eluvial cubriendo el cauce natural, incluyendo la

ubicación de la calicata C-06.

c. Depósito tecnógeno.

Esta unidad está conformada por rellenos de material procedente de los depósitos de tobas de Pachia. Estos rellenos, ocupan áreas deprimidas de las lomadas con el propósito de servir como base para la construcción de infraestructuras.

Fotografía 15:

Unidad geológica del depósito tecnógeno.



Nota: Observación del material de relleno que constituye el depósito tecnógeno, con coloración rosácea característica; se observa también una estructura liviana de concreto con cubierta de calamina sobre depósito.

Fotografía 16:

Edificación ligera sobre el depósito tecnógeno



Nota: Área del depósito tecnógeno utilizada para la construcción de piso de concreto sin cerramientos

5.4. Aspecto geotécnico**5.4.1. Caracterización de suelos (Ceniza volcánica)**

La caracterización de los suelos describe los parámetros físicos y mecánicos a través de ensayos de laboratorio y campo, con el objetivo de evaluar su comportamiento ante cargas, esfuerzos y condiciones ambientales.

Entre los parámetros físicos se incluye la granulometría, humedad natural, densidad in situ, los límites de consistencia, la gravedad específica de los sólidos, la densidad seca máxima y la humedad óptima. En cuanto a los parámetros

mecánicos, destacan la cohesión, el ángulo de fricción interna, la resistencia al corte, y el índice de colapso.

5.4.1.1. Reconocimiento y ensayo in situ. El reconocimiento de campo y los ensayos realizados directamente en el terreno constituyen una etapa importante para comprender las condiciones geotécnicas del suelo en su estado natural. Esta fase permite observar de manera directa las características del perfil del suelo, su disposición estratigráfica y la relación con las unidades geomorfológicas del entorno.

A través de los ensayos in situ, se obtienen parámetros representativos del comportamiento del suelo bajo condiciones reales de carga y humedad, lo cual aporta información esencial para una adecuada interpretación del terreno y para el diseño de soluciones de ingeniería ajustadas a la realidad del sitio. Las observaciones y pruebas realizadas en esta etapa complementan y guían el trabajo posterior en laboratorio.

Para el reconocimiento del subsuelo se realizaron siete calicatas distribuidas estratégicamente dentro del área de estudio, permitiendo observar directamente las características estratigráficas y los cambios de textura, color y consistencia entre los distintos horizontes del suelo. Durante la apertura de estas calicatas, se documentaron aspectos como la profundidad de las capas, el grado de compactación aparente y la presencia de materiales antrópicos o naturales de interés.

Asimismo, en el fondo de cada excavación se llevaron a cabo ensayos in situ, como la determinación de la densidad natural mediante el método del cono de arena, así como pruebas manuales para evaluar la plasticidad y cohesión relativa de los materiales. Estos datos permiten caracterizar el comportamiento mecánico preliminar del suelo en condiciones reales, sirviendo como base para la planificación de los análisis complementarios en laboratorio.

a. Sistema integrado de calicatas controladas. Corresponde a un conjunto organizado y planificado de ocho (8) excavaciones superficiales, realizadas para garantizar la representatividad y precisión en la observación de las características estratigráficas y geológicas del sitio de estudio.

Para lograr estos objetivos, siete (7) calicatas fueron excavadas manualmente desde 1,50 m a 1,93 m empleando pico, pala y barreta, lo que permitió preservar la integridad de los perfiles estratigráficos para su correcta descripción. En algunos casos debido a la presencia de capas endurecidas como el caliche, se utilizó el martillo eléctrico para facilitar su excavación. Esta intervención controlada no afectó la lectura del perfil ni la toma de muestras representativas, manteniéndose la calidad del registro geotécnico. Adicionalmente se aprovechó una trinchera preexistente ubicada dentro del mismo sector. Esta trinchera fue utilizada como punto de verificación opcional para validar la continuidad de las unidades del subsuelo identificadas en el resto del terreno.

Las ubicaciones de las excavaciones pueden observarse en el anexo en el mapa de topografía MT-01

A continuación, se muestra una tabla con el detalle de las calicatas realizadas en la zona de estudio, indicando sus nombres, tipo de excavación, profundidad, coordenadas y cotas.

Tabla 16

Ubicación de las calicatas

Ubicación de calicatas					
Nombre	Tipo de excavación	Profundidad (m)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)
C-01	Calicata	1,80	372166	8014255	852,5
C-02	Calicata	1,93	372138	8014276	849,0
C-03	Calicata	1,90	372179	8014304	853,2
C-04	Calicata	1,55	372216	8014342	853,5
C-05	Calicata	1,60	372211	8014373	858,0
C-06	Calicata	1,50	372260	8014333	855,5
C-07	Calicata	1,65	372274	8014368	856,0
T-01a	Trinchera	1,90	372186	8014340	853,5

Nota: Datos obtenidos directamente en campo durante la investigación.

Un rasgo común en todas las excavaciones ha sido la ausencia de nivel freático dentro de las profundidades alcanzadas. Las calicatas C-02, C-03, C-04 y C-07, representadas por materiales de relleno se excavaron hasta profundidades comprendidas entre 1,55 m y 1,93 m, mientras que las calicatas asociadas a depósitos de ceniza volcánica (C-01, C-05, C-06 y T-01a) presentaron profundidades comprendidas entre 1.50 m a 1.80 m, con excepción de la trinchera

T-01a que estuvo descubierta alcanzando la profundidad de 1,90 m.

Este conjunto de excavaciones constituye la base para el análisis de trabajo detallado y para la posterior interpretación geotécnica del terreno.

b. Registro visual de perfiles estratigráficos. Esta sección presenta el registro visual de los perfiles observados en las excavaciones realizadas, con el propósito de complementar las descripciones técnicas mediante una representación gráfica clara y fiel a las condiciones del terreno. Se documentan las características principales de los cortes verticales, incluyendo la disposición de los estratos, los cambios de color y plasticidad, así como la presencia de materiales particulares o elementos de interés.

La descripción visual de los perfiles se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D 2488, lo que permitió un registro estandarizado y comparativo de las unidades del subsuelo observadas en campo.

Cada perfil fue registrado directamente durante la excavación, permitiendo identificar transiciones entre horizontes, variaciones en la compactación aparente y otras observaciones que no siempre son evidentes en los ensayos de laboratorio. Estos registros ayudan a visualizar la continuidad o ruptura de unidades estratigráficas entre calicatas y aportan una base visual útil para la interpretación del comportamiento del suelo.

Las descripciones se realizaron con base en observaciones directas, garantizando un reflejo lo más preciso posible de las condiciones reales del subsuelo al momento de la intervención.

Los perfiles estratigráficos realizados de las excavaciones se encuentran incluidos en el Anexo en Perfiles Estratigráficos. A continuación, se presenta una tabla que resume las observaciones visuales realizadas directamente en los perfiles durante la apertura de las calicatas.

Tabla 17

Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-01 y C-02.

C - 01	C - 02
<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1.80 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Depósito eluvial, espesor de 0,00 m a 0,10 m, color beige, no reacciona al HCl. - Estrato 2: Ceniza volcánica cementada, espesor de 0,10 m a 0,40 m, color beige con tonalidad rosácea, no reacciona al HCl. - Estrato 3: Ceniza volcánica (arena limosa), espesor de 0,40 m a 1,80 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad moderada, no plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,93 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Relleno (arena limosa), espesor de 0,00 m a 1,93 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad suelta, no plástico.

Nota: Datos obtenidos mediante inspección visual directa de los perfiles de calicatas C-01 y C-02.

Tabla 18

Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-03, C-04, C-05 y C-06.

C - 03	C - 04
<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,90 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Relleno (arena limosa), espesor de 0,00 m a 1,90 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad suelta, no plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,55 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Relleno (arena limosa), espesor de 0,00 m a 1,55 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad suelta, no plástico.
C - 05	C-06
<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,60 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Depósito eluvial, espesor de 0,00 m a 0,35 m, color beige, no reacciona al HCl. - Estrato 2: Ceniza volcánica (arena limosa), espesor de 0,35 m a 1,60 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad moderada, no plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,50 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Depósito eluvial, espesor de 0,00 m a 0,40 m, color beige, no reacciona al HCl. - Estrato 2: Ceniza volcánica cementada, espesor de 0,40 m a 0,70 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl. - Estrato 3: Ceniza volcánica (arena limosa), espesor de 0,70 m a 1,50 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad moderada, no plástico.

Fuente: Datos obtenidos mediante inspección visual directa de los perfiles de calicatas C-03, C-04, C-05 y C-06.

Tabla 19

Resumen de los perfiles visuales de las calicatas C-07 y T-01a.

C - 07	T - 01a
<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,65 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Relleno (arena limosa), espesor de 0,00 m a 1,65 m, color beige, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad suelta, no plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad investigada: 1,90 m - Nivel freático: No presenta - Estrato 1: Ceniza volcánica (arena limosa), espesor de 0,00 m a 1,90 m, color beige con tonalidad rosácea, material húmedo, no reacciona al HCl, compacidad moderada, no plástico.

Nota: Datos obtenidos mediante inspección visual directa de los perfiles de calicatas C-07 y T-01a.

En el registro visual de los perfiles estratigráficos de las excavaciones, se reconocen dos condiciones predominantes en el área de estudio: la presencia de depósitos naturales con desarrollo estratigráfico típico de la Formación Pachía, caracterizados principalmente por cenizas volcánicas y zonas intervenidas con rellenos conformados también por ceniza volcánica, los depósitos tecnógenos, alcanzando espesores de hasta casi 2 metros en algunos sectores. Asimismo, ninguna de las muestras mostró reacción al ácido clorhídrico (HCl).

c. Evaluación de la densidad natural del suelo con método del cono de arena. Como parte de los trabajos de campo, se ejecutaron ensayos de densidad in situ utilizando el método del cono de arena, con el fin de obtener una estimación directa del estado de compactación del terreno en el momento de la excavación.

Este tipo de prueba se realiza de forma práctica y controlada en sitio, y permite calcular la densidad húmeda del suelo en diferentes puntos de muestreo.

Los ensayos se llevaron a cabo en el fondo de calicatas representativas, seleccionadas de acuerdo con los perfiles estratigráficos observados durante las excavaciones. En cada punto, se acondicionó una superficie limpia y nivelada donde se colocó el equipo de cono de arena. Siguiendo el procedimiento de la norma NTP 339.143 (equivalente a ASTM D1556), se vertió arena calibrada para medir el volumen exacto del hoyo excavado, y se registró el peso del suelo extraído.

Con estos datos, fue posible calcular en campo la densidad húmeda del terreno, la cual es un parámetro útil para evaluar diferencias de compacidad entre estratos naturales y sectores de relleno. No obstante, para obtener la densidad seca real, es necesario conocer el contenido de humedad del suelo, el cual será determinado posteriormente en laboratorio a partir de las muestras tomadas en cada punto de ensayo.

A continuación, se presenta la tabla 20 con los resultados preliminares obtenidos en campo, que incluye la densidad húmeda y observaciones generales sobre las condiciones del terreno. Estos valores servirán como referencia inicial hasta que se completen los análisis de contenido de humedad en gabinete, lo que permitirá calcular la densidad seca y realizar una interpretación más detallada del comportamiento geotécnico del suelo en el área de estudio.

Tabla 20

Resultado de la densidad natural in situ de los puntos de muestreo pro calicata

Nombre	Profundidad (m)	Peso del suelo extraído (gr)	Volumen del hoyo (cm³)	Densidad húmeda (gr/cm³)
C-01	1,80	1675	1340,51	1,250
C-02	1,93	1875	1547,6	1,212
C-03	1,90	1615	1337,04	1,208
C-04	1,55	1950	1667,13	1,170
C-05	1,60	2540	2000,69	1,270
C-06	1,50	2185	1646,28	1,327
C-07	1,65	2245	1820,01	1,234
T-01a	1,90	2060	1486,45	1,386

Nota: Datos obtenidos directamente en campo mediante muestreo in situ.

Las muestras correspondientes a ceniza volcánica natural (C-01, C-05, C-06 y T-01a) presentan valores de densidad húmeda de campo de 1.308 gr/cm³ en promedio, lo que refleja una mayor compactación y cohesión propia de los depósitos volcánicos consolidados. En contraste, las muestras clasificadas como relleno (C-02, C-03, C-04 y C-07) exhiben densidades húmedas más bajas, de 1.206 g/cm³. Estos valores iniciales de densidad húmeda representan datos fundamentales para la caracterización del terreno y serán complementados con el contenido de humedad determinado en laboratorio, lo que permitirá calcular la densidad seca.

d. Obtención de muestras geotécnicas. Para la toma de muestras de suelo se siguieron los procedimientos indicados en la norma NTP 339.151, la cual establece cómo conservar y transportar las muestras para mantener sus condiciones

originales. Durante la apertura de todas las calicatas se recogieron muestras representativas, asegurando que se preservará su estado natural.

Las muestras se manipularon cuidadosamente para evitar cualquier cambio que pudiera alterar sus propiedades, utilizando recipientes adecuados y un sistema de etiquetado claro para evitar confusiones. Este cuidado es importante porque estas muestras serán analizadas en laboratorio para conocer características claves como la textura, humedad y resistencia del suelo.

La calidad en la obtención y manejo de las muestras es fundamental para que los resultados sean confiables y sirvan de base para interpretar correctamente el comportamiento del terreno.

5.4.1.2. Evaluación de propiedades en laboratorio. Tras el muestreo realizado de los 8 puntos de inspección estratigráfica, las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su posterior análisis. Esta fase es importante para conocer con mayor precisión las características físicas y mecánicas del suelo que no puedan obtenerse directamente en campo.

En el laboratorio se determinaron propiedades fundamentales como el contenido de humedad, límites de plasticidad, granulometría y resistencia, entre otras. Estos resultados permiten complementar y validar las observaciones hechas en sitio, especialmente las relacionadas con la densidad y la textura de los materiales.

La información generada en esta fase contribuirá a una mejor comprensión del comportamiento del suelo, facilitando la evaluación de su capacidad portante y su susceptibilidad a procesos como la colapsabilidad.

Los ensayos de mecánica de suelos se llevaron a cabo en el laboratorio especializado de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Todas las pruebas se desarrollaron siguiendo las Normas Técnicas Peruanas vigentes. Esta metodología permite obtener datos precisos y estandarizados que sustentan el análisis geotécnico y la interpretación del comportamiento del suelo.

a. Propiedades físicas. En esta sección se presentan los resultados de laboratorio correspondientes a las propiedades físicas de los suelos muestreados en los 8 puntos de inspección. El análisis se ha enfocado en parámetros básicos que permiten caracterizar el comportamiento inicial del suelo, tales como el contenido de humedad natural, la granulometría, la densidad seca, el peso específico, los límites de Atterberg y la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad.

Estos ensayos fueron realizados bajo condiciones controladas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela Profesional de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. En la siguiente tabla resume los ensayos de laboratorio realizados para todas las calicatas en este estudio. Cada uno de estos ensayos se ha llevado a cabo bajo normas y procedimientos estandarizados,

garantizando la precisión de los resultados. Estos ensayos constituyen la base técnica de los análisis posteriores.

Tabla 21

Propiedades físicas de los suelos por calicata

Calicata	Estrato	Cota	Contenido de humedad	Densidad húmeda in situ	Peso específico húmedo	Densidad seca in situ	Peso específico seco	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
		m.s.n.m.	%	gr/cm ³	KN/m ³	gr/cm ³	KN/m ³	LL	LP	IP
C-01	E-03	852,5	1,74	1,250	12,263	1,232	12,086	38	NP	NP
C-02	E-01	849,0	4,15	1,212	11,890	1,164	11,419	31	NP	NP
C-03	E-01	853,2	2,89	1,208	11,850	1,167	11,448	34	NP	NP
C-04	E-01	853,5	3,71	1,170	11,478	1,128	11,066	29	NP	NP
C-05	E-02	858,0	0,68	1,270	12,459	1,250	12,263	35	NP	NP
C-06	E-03	855,5	0,72	1,327	13,018	1,307	12,822	32	NP	NP
C-07	E-01	856,0	3,47	1,234	12,106	1,175	11,527	30	NP	NP
T-01a	E-01	853,5	0,67	1,386	13,597	1,360	13,342	37	NP	NP

Nota: Datos obtenidos mediante muestreo de suelos in situ y análisis de laboratorio.

Se observa el contenido de humedad natural del suelo en estado inalterado, en el sector del depósito de ceniza volcánica, los contenidos de humedad se encuentran entre 0,67% y 1,74%, mientras que en los materiales de relleno los valores varían entre 2,89% y 4,15%.

En cuanto a la densidad seca in situ, los suelos de ceniza volcánica presentan valores entre 1,232 gr/cm³ y 1,360 gr/cm³, evidenciando una compactación relativamente mayor. Por otro lado, los suelos de relleno muestran densidades secas más bajas,

entre 1,128 gr/cm³ y 1,175 gr/cm³, lo cual sugiere que estos materiales no han sido colocados ni compactados de manera controlada.

Los ensayos de límites de consistencia mostraron resultados de límite líquido variables en toda el área del terreno. Para las cenizas volcánicas presenta en promedio valores de límite líquido entre 32% a 38% y los depósitos tecnógenos valores entre 29% y 34%. Con respecto al límite plástico e índice de plasticidad, todas las muestras analizadas se clasificaron como “NP” (No Plástico).

En la tabla 22, el análisis granulométrico indica que los suelos del área de estudio están compuestos principalmente por fracciones arenosas y finas.

Tabla 22

Distribución granulométrica de los suelos por calicata

Calicata	Estrato	Profundidad	Grava	Arena	finos
		m	%	%	%
C-01	E-03	1,80	15,47	52,41	32,12
C-02	E-01	1,93	7,98	49,08	42,95
C-03	E-01	1,90	11,41	53,78	34,82
C-04	E-01	1,55	6,55	48,86	44,59
C-05	E-02	1,60	11,81	55,72	32,47
C-06	E-03	1,50	14,30	53,30	32,40
C-07	E-01	1,65	7,35	51,84	40,81
T-01a	E-01	1,90	15,02	53,84	31,14

Nota: Datos obtenidos del análisis granulométrico realizado en el laboratorio de mecánica de suelos.

Los depósitos volcánicos (C-01, C-05, C-06 y T-01a) presentan contenidos de grava entre 11,81% y 15,47%, arena entre 52,41% y 55,72% y material fino entre 31,14% y 32,47%. Por su parte los depósitos tecnógenos muestran contenidos de grava entre 6,55% y 11,41%, arena entre 48,86% y 53,78% y material fino entre 34,82% y 44,59%.

Adicionalmente, se realizaron ensayos del peso específico de los sólidos y el Proctor modificado de dos muestras de suelos (C-04 y T-01a) para la determinación de la densidad máxima seca y el contenido óptimo de humedad. Estas fueron seleccionadas por representar las condiciones características del terreno: material de relleno en el primer caso y ceniza volcánica natural en el segundo.

A continuación, se presenta la tabla con los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 23

Resultado de los ensayos de la gravedad específica y Proctor modificado de los suelos de las calicatas C-04 y T-01a

Calicata	Estrato	Cota	Gravedad específico de los sólidos	Densidad máxima seca	Contenido óptimo de humedad
		m.s.n.m.	-	gr/cm³	%
C-04	E-01	853,5	2,446	1,508	16,44
T-01a	E-01	853,5	2,220	1,400	19,85

Nota: Datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio de la gravedad específica de los sólidos y determinación de la densidad máxima seca y contenido óptimo de humedad mediante Proctor modificado.

Para la muestra T-01a se obtuvieron una densidad seca máxima de 1,40 gr/cm³ con un contenido óptimo de humedad de 19,85% y una gravedad específica de 2,220. En cuanto al relleno antrópico, este presenta una densidad seca máxima de 1,508 gr/cm³ con un contenido óptimo de humedad de 16,44% y una gravedad específica de 2,446.

b. Propiedades mecánicas. El estudio de las propiedades mecánicas del suelo permite evaluar su comportamiento frente a cargas externas y condiciones de esfuerzo, siendo un aspecto fundamental en la caracterización geotécnica de cualquier terreno. Estas propiedades definen la resistencia del suelo al corte, su compresibilidad, la relación esfuerzo-deformación y su capacidad de deformarse o fallar ante sollicitaciones mecánicas.

Dentro del presente estudio, las propiedades mecánicas fueron determinadas a través de ensayos específicos realizados en laboratorio, tales como el corte directo y colapsabilidad. Cada uno de estos ensayos permite estimar parámetros representativos como la cohesión aparente, el ángulo de fricción interna y el índice de colapsabilidad.

El análisis de estos parámetros es crucial para comprender cómo se comportará el suelo al ser sometido a cargas estructurales, y permite establecer criterios técnicos adecuados para el diseño de cimentaciones, estabilidad de taludes o mejoramiento del terreno, entre otros aspectos fundamentales de la ingeniería geotécnica.

El ensayo de corte directo proporciona información sobre la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esta resistencia permite determinar la capacidad del suelo para soportar cargas sin fallar por deslizamiento o deformación.

- **Corte directo**

Se realizaron un total de cuatro ensayos de corte directo en muestras de suelo extraídas de las excavaciones C-03, C-04 y T-01a, correspondientes a la zona de estudio. Las muestras C-04 y T-01a fueron ensayadas a su densidad natural en el laboratorio de suelos de la Escuela de Minas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Adicionalmente, se enviaron dos muestras a un

laboratorio externo: la correspondiente a la calicata C-03, también a su densidad natural, y una segunda muestra de la calicata C-04, la cual fue remoldeada a su densidad máxima determinada mediante el ensayo de Proctor modificado.

En la tabla siguiente se muestra los parámetros obtenidos: el ángulo de fricción interna y la cohesión.

Tabla 24

Propiedades mecánicas de los suelos de las calicatas C-03, C-04 y T-01a: Densidad, peso específico, ángulo de fricción y cohesión (in situ y Proctor modificado)

Calicata	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kg/cm ²)	Observación
C-03	1,208	11,850	24,23	0,080	Densidad in situ
C-04	1,756	17,226	26,25	0,100	Densidad máxima
C-04	1,170	11,478	21,37	0,068	Densidad in situ
T-01a	1,386	13,597	25,83	0,123	Densidad in situ

Nota: Resultados obtenidos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Escuela de Minas de la UNJBG y del laboratorio del Grupo Rovime S.A.C.

La muestra T-01a del depósito de ceniza volcánica presenta un ángulo de fricción de 25,83° y una cohesión de 0,123 Kg/cm². En el caso de la muestra C-03 y C-04 del depósito tecnógeno, los valores del ángulo de fricción resultaron 24,23° y 21,37°, y cohesiones de 0,080 Kg/cm² y 0,068 Kg/cm², respectivamente. Sumando a ello, se determinó el ángulo de fricción de la muestra del depósito

tecnógeno (C-04) para su densidad máxima (obtenida en el ensayo del Proctor modificado) resultando un valor de $26,25^\circ$ y una cohesión de $0,100 \text{ Kg/cm}^2$.

- **Colapsabilidad.**

El ensayo de colapsabilidad resulta fundamental para caracterizar el comportamiento de los suelos del área de estudio y su respuesta ante la saturación de agua. Los suelos colapsables tienen una estructura suelta y porosa que puede experimentar asentamientos bruscos cuando se incrementa su contenido de humedad.

- Potencial de colapso en función del límite líquido y peso volumétrico seco.

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (2020), en la norma E.050 (suelos y cimentaciones) se da a conocer la relación entre los colapsables y no colapsables en función del Límite Líquido (LL) y del peso volumétrico seco (gr/cm^2).

La siguiente tabla presenta un resumen de los datos obtenidos del suelo, incluyendo el límite líquido y el peso volumétrico seco.

Tabla 25

Propiedades físicas de los suelos por calicata: Densidad seca y límite líquido

Calicatas	Densidad seca	Límite líquido
	gr/cm ³	(%)
C-01	1,232	38
C-02	1,164	31
C-03	1,167	34
C-04	1,128	29
C-05	1,250	35
C-06	1,307	32
C-07	1,175	30
T-01a	1,360	37

Nota: Datos obtenidos mediante ensayos de laboratorio sobre muestras de suelo.

Tabla 26

Parámetros de densidad máxima seca y límite líquido de suelos compactados de la calicata C-04 y T-01a

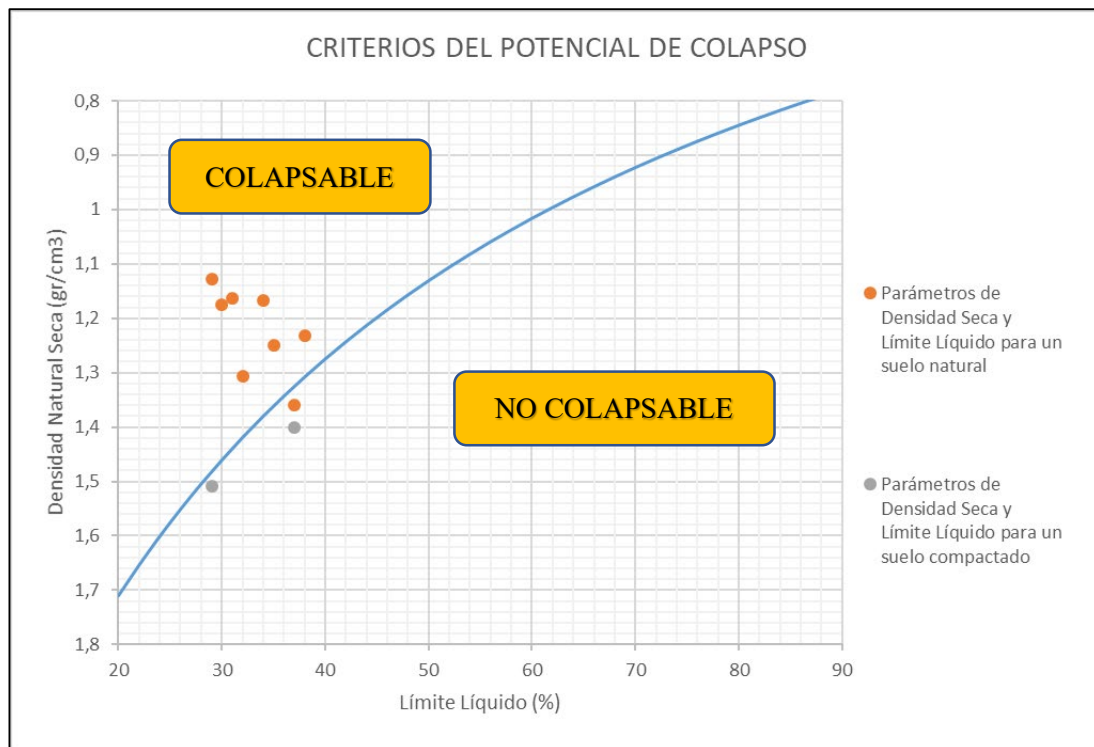
Calicatas	Densidad máxima seca	Límite líquido
	gr/cm ³	(%)
C-04	1,508	29
T-01a	1,400	37

Nota: Datos obtenidos mediante ensayos de Proctor modificado para densidad máxima seca; el límite líquido se mantiene según criterio previo.

Como primera instancia se clasificó el potencial de colapso en función del límite líquido y peso volumétrico seco de las tablas 25 y 26. Estos datos se muestran proyectados en la figura siguiente que relaciona las regiones colapsables y las no colapsables.

Figura 8:

Criterio de potencial de colapso de suelos



Nota: Cálculo del potencial de colapso realizado sobre los suelos de las calicatas, utilizando límite líquido y densidad in situ seco. Figura extraída del RNE E.05 (2020) como referencia metodológica.

En la figura 8, los puntos naranjas representan los valores de densidad secas in situ y el límite líquido correspondiente a las ocho excavaciones (tabla 25), mientras que los puntos grises corresponden a las densidades secas máximas obtenidas mediante el ensayo del Proctor modificado y sus respectivos límites líquidos.

Los materiales de relleno representadas por las calicatas C-02, C-03, C-04 y C-07, se ubican dentro del campo colapsable, a una mayor distancia de la curva límite de colapsabilidad. En cuanto a los depósitos de ceniza volcánica, correspondientes a las calicatas C-01, C-05 y C-06, también se encuentran en el campo colapsable, pero próximos a la curva límite de colapsabilidad, mientras que T-01a se localiza dentro del área no colapsable.

Los valores de los suelos compactados mediante Proctor modificado, correspondientes a las calicatas C-04 y T-01a, se ubican dentro del área no colapsable, cerca de la curva límite de colapsabilidad.

- Evaluación de potencial de colapso mediante el edómetro

De acuerdo a la norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones, un suelo con características de ser susceptible al colapso se deberá sustentar mediante los resultados del ensayo de colapsabilidad potencial de acuerdo a la norma NTP 339.163 (ASTM D 5333).

El método de ensayo se realiza mediante el edómetro y es utilizado para los suelos que tengan ocurrencia de hundimiento

debido a su característica colapsable. Las muestras de suelo se obtendrán en condición inalterada o remoldeadas a su densidad y humedad natural, para luego ensayarse en el edómetro con presión mínima y saturarse con agua destilada, registrando la deformación en función del tiempo.

El Índice de Colapso (Ic) es definido a partir de la siguiente ecuación (32):

$$Ic(\%) = \frac{\Delta e}{1+e_o} \quad \text{ó} \quad Ic(\%) = \frac{\Delta h}{h_o} \quad (32)$$

Donde:

Δe = Cambio en la relación de vacíos debido al colapso bajo humedecimiento

e_o = Relación de vacíos inicial

Δh = Cambio de altura de la muestra

h_o = Altura inicial de la muestra

Empleando el método indicado a las muestras de las calicatas ejecutadas se obtiene los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 27

Relación de vacíos para cargas aplicadas, saturación a 2Kg/cm² de la muestra C-04

Lectura del dial a diferentes cargas			Relación de vacíos a diferentes cargas
Carga (Kg/cm ²)	Lectura del dial (0.01 mm)	Altura de la muestra (cm)	Relación de vacíos "e"
0,01	822,9	2,00	1,234
0,127	810,4	1,99	1,220
0,25	801,0	1,98	1,209
0,51	785,6	1,96	1,192
1,02	756,0	1,93	1,159
2,04	719,1	1,90	1,118
2,04 (saturación)	639,9	1,82	1,029
3,06	622,0	1,80	1,029

Nota: Resultado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.

Tabla 28

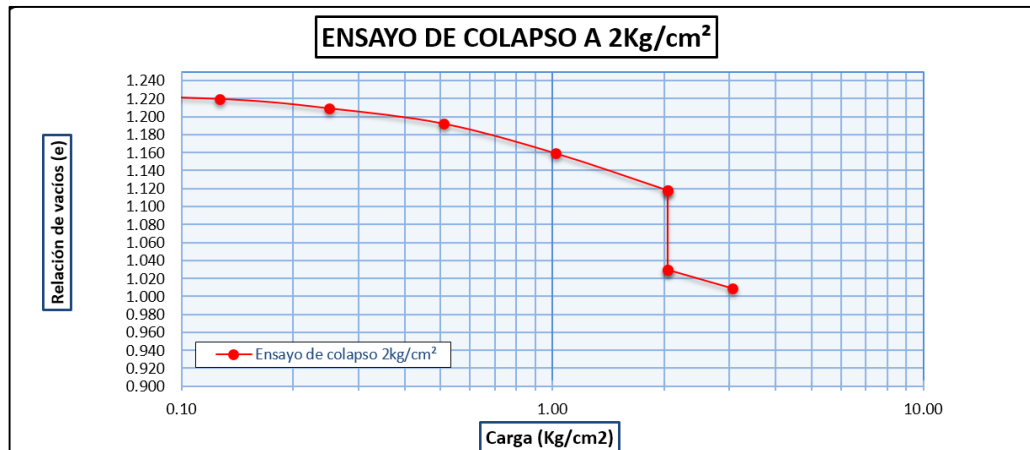
Relación de vacíos para cargas aplicadas, saturación a 2Kg/cm² de la muestra T-01a

Lectura del dial a diferentes cargas			Relación de vacíos a diferentes cargas
Carga (Kg/cm ²)	Lectura del dial (0.01 mm)	Altura de la muestra (cm)	Relación de vacíos "e"
0,01	732,0	2,00	0,742
0,127	723,1	1,99	0,735
0,25	719,8	1,99	0,732
0,51	714,9	1,98	0,727
1,02	707,8	1,98	0,721
2,04	698,8	1,97	0,713
2,04 (saturación)	691,0	1,96	0,707
3,06	685,7	1,95	0,702

Nota: Resultado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.

Figura 9:

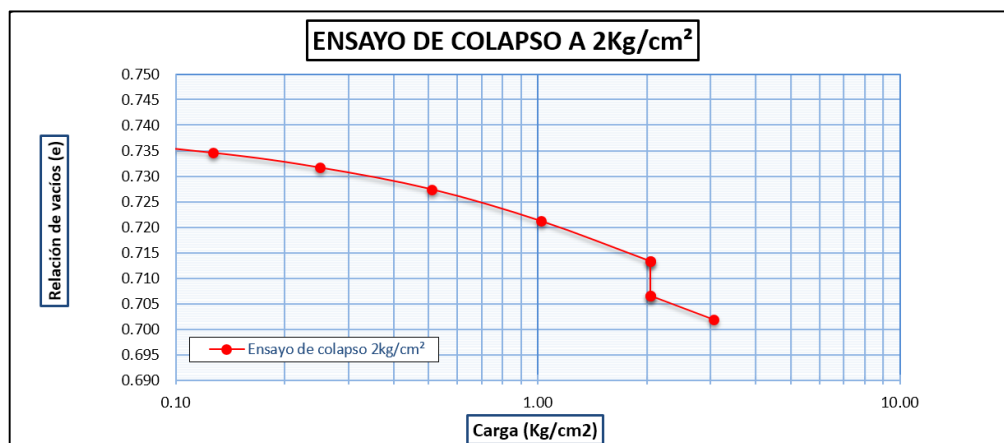
Ensayo de colapso a 2 Kg/cm² de la muestra C-04



Nota: Resultado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.

Figura 10:

Ensayo de colapso a 2Kg/cm² de la muestra T-01a



Nota: Resultado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de HI GEOPROJECT CONSULTORIA S.R.L.

Para el cálculo del índice de colapso se utilizó la ecuación (18), empleando los datos representados en las tablas 27 y 28. En estas tablas, la relación de vacío inicial corresponde al valor registrado para la primera carga de 0,01 Kg/cm², mientras que la diferencia de la relación de vacíos se obtuvo a partir de los valores correspondientes a la carga de 2,04 Kg/cm², antes y después de la saturación del suelo. De esta manera se procedió a realizar los cálculos necesarios para determinar el índice de colapsabilidad, clasificando el grado de colapso conforme a los criterios establecidos en la tabla 3. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 29.

$$Ic(\%) = \frac{\Delta e}{(1 + e_o)}$$

$$Ic(\%) = \frac{(1,118 - 1,029)}{(1 + 1,234)}$$

$$Ic(\%) = 3,9$$

Tabla 29

Resultado del índice de colapso para 2 Kg/cm² de las calicatas C-04 y T-01a

Calicata	Índice de colapso para 2 Kg/cm² (%)	Grado de Colapso
C-04	3,96	Moderado
T-01a	0,39	Leve

Nota: Resultado del Laboratorio de Mecánica de Suelos de HI GEOPROJECT

CONSULTORIA S.R.L. Norma Técnica Peruana NTP 339:163.

Se ha evaluado el índice de colapsabilidad y el grado de colapso mediante el edómetro, obteniéndose para la muestra de relleno C-04 un índice de colapso para 2 Kg/cm^2 de 3,96% (grado de colapso moderado) y para la muestra natural de ceniza volcánica T-01a se obtuvo un índice de colapso de 0,39% (grado de colapso leve). Los resultados obtenidos del laboratorio se han clasificado en base a la propuesta por el RNE-NTP 339.163.

5.4.2. Clasificación geotécnica de suelos

Una vez obtenidos y analizados los resultados de los ensayos de campo y laboratorio, se procede a clasificar los suelos presentes en el área de estudio. Esta clasificación se basa en los parámetros físicos y mecánicos obtenidos, y se realiza utilizando los sistemas estándar reconocidos.

5.4.2.1. Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO. Para el análisis geotécnico del material, se emplearon: el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el sistema de clasificación AASHTO, este último aplicado comúnmente en proyecto de infraestructura vial.

El SUCS permite identificar los suelos con base a su granulometría y comportamiento plástico, constituyéndose como una referencia para la evaluación de los materiales frente a cargas estructurales.

Complementariamente la clasificación AASHTO aporta una visión orientada a la respuesta del suelo como material de subrasante.

A continuación, se presenta la clasificación de cada una de las muestras obtenidas, incorporando la designación SUCS y AASHTO con base en sus características granulométricas y límites de consistencia.

Tabla 30

Propiedades granulométricas y clasificación SUCS Y AASHTO de los suelos por calicata.

Calicata	Estrato	Profundidad	Grava	Arena	finos	Índice de plasticidad	SUCS	AASHTO	IG
		m	%	%	%	IP (%)	-	-	-
C-01	E-03	1,80	15,47	52,41	32,12	NP	SM	A-2-4	0
C-02	E-01	1,93	7,98	49,08	42,95	NP	SM	A-4	1.59
C-03	E-01	1,90	11,41	53,78	34,82	NP	SM	A-2-4	0
C-04	E-01	1,55	6,55	48,86	44,59	NP	SM	A-4	1.92
C-05	E-02	1,60	11,81	55,72	32,47	NP	SM	A-2-4	0
C-06	E-03	1,50	14,30	53,30	32,40	NP	SM	A-2-4	0
C-07	E-01	1,65	7,35	51,84	40,81	NP	SM	A-4	1.16
T-01a	E-01	1,90	15,02	53,84	31,14	NP	SM	A-2-4	0

Nota: Datos obtenidos en laboratorio mediante análisis granulométrico de muestras extraídas in situ.

La clasificación SUCS de los suelos en todas las calicatas del área de estudio indica que los depósitos corresponden a limo-arenoso (SM), caracterizado por predominio de arena con finos limosos.

De manera complementaria, con la clasificación AASHTO y el cálculo del índice de grupo (IG), los suelos de ceniza volcánica (C-01, C-05, C-06 y T-01a) se clasifican según la tabla 8 como A-2-4, con $IG = 0$, lo que indica una subrasante de calidad muy buena conforme a los criterios establecidos en la tabla 7. Por su parte, los suelos de relleno (C-02, C-03, C-04 y C-07) se clasifican como A-4, con valores de IG entre 1 y 2, lo que corresponde a una subrasante buena.

5.4.3. Capacidad de carga

El análisis de la capacidad de carga del suelo se realizó con el objetivo de evaluar la seguridad y el comportamiento de las cimentaciones sobre los depósitos de ceniza volcánica y antrópico. Para este propósito, se emplearon los métodos propuestos por Terzaghi y Meyerhof, lo que permitió obtener los resultados que reflejan las condiciones del terreno en las calicatas estudiadas.

En el desarrollo del análisis se han simulado como modelo de cimentación superficial una zapata cuadrada de 1m de ancho con profundidades de 1,50 m y 1,90 m. A partir de este esquema se aplicaron las expresiones teóricas correspondientes para estimar la capacidad portante del suelo. Esta aproximación permitió valorar la influencia de los parámetros geotécnicos sobre la capacidad portante.

Para el desarrollo del análisis se han aplicado las siguientes ecuaciones (33) y (34) para cimientos cuadrados:

Teoría de Terzaghi

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma \text{ (Falla general)} \quad (33)$$

$$q_u = 0,867cN'_c + qN'_q + 0,4\gamma BN'_\gamma \text{ (Falla local)} \quad (34)$$

Donde:

c = Cohesión del suelo

γ = Peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensional que son únicamente funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ . Las ecuaciones correspondientes a los factores de seguridad se verifican en las ecuaciones (9), (10) y (11)

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

Y para la aplicación de la teoría de Meyerhof se desarrolló la ecuación (35)

$$q_u = cN_cS_c d_c i_c + qN_qS_q d_q i_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (35)$$

Donde:

c = Cohesión del suelo

γ = Peso específico del suelo

$q = \gamma D_f$

B = Ancho de zapata

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga adimensional para Meyerhof que son únicamente funciones del ángulo de fricción del suelo, ϕ . Las ecuaciones correspondientes a los factores de seguridad de Meyerhof se verifican en las ecuaciones (18), (19) y (20).

S_c, S_q, S_γ = Factores de forma

d_c, d_q, d_γ = Factores de profundidad

i_c, i_q, i_γ = Factores de inclinación

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

Ver ecuaciones (21) al (29) para los factores de forma, profundidad e inclinación.

La ecuación (36) muestra la capacidad de carga admisible

$$Q_{adm} = \frac{q_u}{FS} \quad (36)$$

Los resultados se obtuvieron empleando el factor de seguridad $FS=3$, que es un factor de seguridad mínimo para cargas estáticas para cimentaciones frente a una falla por corte ((RNE), Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020)

Se muestra la figura 11 los factores de capacidad de carga adimensional empleados para el cálculo de capacidad de carga por falla de corte general

Figura 11:

Factores de capacidad de carga de Terzaghi. De Kumbhojkar (1993)

ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Nota: Figura tomada de Braja M. Das (2012)

En la figura 12 se tiene los factores de capacidad de carga adimensional empleados para el cálculo de capacidad de carga por falla de corte local

Figura 12:Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi N'_c , N'_q y N'_γ

ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Nota: Figura tomada de Braja M. Das (2012)

La tabla que se presenta a continuación resume los resultados obtenidos mediante cada uno de estos métodos empleando la hoja de cálculo Excel. Estos datos permiten comparar la capacidad de carga, identificando así zonas con variaciones significativas en su resistencia.

Tabla 31

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte general) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad	Densidad	Peso específico	Falla por corte general			
				Qu		Qadm	
	m	gr/cm ³	KN/m ³	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,50	1,208	11,850	4,949	485,456	1,650	161,819
C-04	1,50	1,756	17,226	8,168	801,265	2,723	267,088
C-04	1,50	1,170	11,478	3,442	337,652	1,147	112,551
T-01a	1,50	1,386	13,597	7,711	756,489	2,570	252,163

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi para falla por corte general. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 32

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte local) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad	Densidad	Peso específico	Falla por corte local			
				Qu		Qadm	
	(m)	(gr/cm ³)	(KN/m ³)	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,50	1,208	11,850	2,048	200,957	0,683	66,986
C-04	1,50	1,756	17,226	3,176	311,565	1,059	103,855
C-04	1,50	1,170	11,478	1,560	153,025	0,520	51,008
T-01a	1,50	1,386	13,597	3,025	296,770	1,008	98,923

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi para falla por corte local. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 33

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte general) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad (m)	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Falla por corte general			
				Qu		Qadm	
				Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,90	1,208	11,850	5,514	540,933	1,838	180,311
C-04	1,90	1,756	17,226	9,196	902,091	3,065	300,697
C-04	1,90	1,170	11,478	3,845	377,154	1,282	125,718
T-01a	1,90	1,386	13,597	8,485	832,394	2,828	277,465

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi para falla por corte general. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 34

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Terzaghi (falla de corte local) para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad (m)	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Falla por corte local			
				Qu		Qadm	
				Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,90	1,208	11,850	2,304	226,042	0,768	75,347
C-04	1,90	1,756	17,226	3,610	354,097	1,203	118,032
C-04	1,90	1,170	11,478	1,760	172,697	0,587	57,566
T-01a	1,90	1,386	13,597	3,356	329,258	1,119	109,753

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi para falla por corte local. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 35

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,50 m de profundidad según Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad (m)	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Ecuación general de Meyerhof			
				Qu		Qadm	
				Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,50	1,208	11,850	6,669	654,182	2,223	218,061
C-04	1,50	1,756	17,226	11,251	1103,739	3,750	367,913
C-04	1,50	1,170	11,478	4,491	440,559	1,497	146,853
T-01a	1,50	1,386	13,597	10,632	1043,016	3,544	347,672

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Meyerhof. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 36

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1,90 m de profundidad según Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad (m)	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (KN/m ³)	Ecuación general de Meyerhof			
				Qu		Qadm	
				Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,90	1,208	11,850	7,882	773,230	2,627	257,743
C-04	1,90	1,756	17,226	13,418	1316,272	4,473	438,757
C-04	1,90	1,170	11,478	5,316	521,464	1,772	173,821
T-01a	1,90	1,386	13,597	12,445	1220,809	4,148	406,936

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Meyerhof. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Para los depósitos de ceniza volcánica a una profundidad de 1,50 m, el método

de Terzagui estimó una capacidad admisible (Q_{adm}) de 252,163 KN/m^2 (2,570 Kg/cm^2) para falla por corte general y de 98,923 KN/m^2 (1,008 Kg/cm^2) para falla por corte local. Por su parte, el método de Meyerhof resultó un valor de 347,672 KN/m^2 (3,544 Kg/cm^2). A una profundidad de 1,90 m, el método de Terzagui estimó capacidades admisibles de 277,465 KN/m^2 (2,828 Kg/cm^2) para corte general y 109,753 KN/m^2 (1,119 Kg/cm^2) para corte local, mientras que el método de Meyerhof proporcionó un valor de 406,936 KN/m^2 (4,148 Kg/cm^2).

Para los depósitos tecnógenos a la profundidad de 1,50 m, el método de Terzagui estimó capacidades admisibles (Q_{adm}) de 112,551 KN/m^2 (1,147 Kg/cm^2) y 161,819 KN/m^2 (1,650 Kg/cm^2) para falla de corte general, y de 51,008 KN/m^2 (0,520 Kg/cm^2) y 66,986 KN/m^2 (0,683 Kg/cm^2) para falla de corte local, Por su parte el método de Meyerhof resultó valores de 146,853 KN/m^2 (1,497 Kg/cm^2) y 218,061 KN/m^2 (2,223 Kg/cm^2). A una profundidad de 1,90 m, el método de Terzagui estimó capacidades admisibles de 125,718 KN/m^2 (1,282 Kg/cm^2) y 180,311 KN/m^2 (1,838 Kg/cm^2) para corte general, y 57,566 KN/m^2 (0,587 Kg/cm^2) y 75,347 KN/m^2 (0,768 Kg/cm^2) para corte local, mientras que el método de Meyerhof proporcionó valores de 173,821 KN/m^2 (1,772 Kg/cm^2) y 257,743 KN/m^2 (2,627 Kg/cm^2).

Para los depósitos tecnógenos de una muestra compactada a su densidad máxima óptima a la profundidad de 1,50 m, el método de Terzagui estimó una

capacidad admisible (Q_{adm}) de $267,088 \text{ KN/m}^2$ ($2,723 \text{ Kg/cm}^2$) para falla por corte general y de $103,855 \text{ KN/m}^2$ ($1,059 \text{ Kg/cm}^2$) para falla por corte local. Por su parte, el método de Meyerhof resultó un valor de $367,913 \text{ KN/m}^2$ ($3,750 \text{ Kg/cm}^2$). A una profundidad de $1,90 \text{ m}$, el método de Terzagui estimó capacidades admisibles de $300,697 \text{ KN/m}^2$ ($3,065 \text{ Kg/cm}^2$) para corte general y $118,032 \text{ KN/m}^2$ ($1,203 \text{ Kg/cm}^2$) para corte local, mientras que el método de Meyerhof proporcionó un valor de $438,757 \text{ KN/m}^2$ ($4,473 \text{ Kg/cm}^2$).

Los resultados muestran claramente en el método de Terzaghi que los valores de capacidad portante por corte general son notablemente mayores que los obtenidos por corte local, lo cual es consistente con la teoría. Los resultados de Meyerhof muestran valores mayores en comparación a los de Terzaghi por los factores de capacidad de carga y los factores de corrección (forma, profundidad e inclinación).

Capítulo VI: Discusión de resultados

En este apartado se examinan los resultados del estudio geotécnico realizado en un terreno compuesto por ceniza volcánica y relleno, área que actualmente se encuentra en una etapa inicial de urbanización progresiva. Considerando que el terreno se destinará a la construcción de viviendas, resulta fundamental caracterizar adecuadamente las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Los datos recopilados a partir de ensayos de campo y laboratorio permiten identificar las condiciones geotécnicas predominantes y la capacidad portante del suelo, tanto en suelos naturales como en rellenos.

6.1. Investigación geotécnica en campo

La zona de estudio forma parte de los depósitos de ceniza volcánica de la Formación Pachía. Adicionalmente, en determinados sectores se reconocen depósitos de origen antrópico asociados a procesos de relleno, utilizados para la modificación de cauces y acondicionamiento del terreno. Para la caracterización geotécnica de la zona de investigación se han ejecutado ocho excavaciones que se han distribuido para el fin del estudio.

En cuanto al registro visual de los perfiles estratigráficos de las excavaciones, se reconocen dos condiciones predominantes en el área de estudio: la presencia de depósitos naturales con desarrollo estratigráfico típico de la Formación Pachía, caracterizados principalmente por cenizas volcánicas y zonas

intervenidas con rellenos conformados también por ceniza volcánica, alcanzando espesores de hasta casi 2 metros en algunos sectores. Esta diferenciación superficial evidencia procesos de modificación antrópica sobre un sustrato natural relativamente homogéneo.

Un rasgo común en todas las excavaciones ha sido la ausencia de nivel freático dentro de las profundidades alcanzadas, lo cual es un indicio relevante en cuanto al comportamiento mecánico y drenaje del terreno. Asimismo, ninguna de las muestras mostró reacción frente al ácido clorhídrico (HCl), lo que sugiere una baja o nula presencia de carbonatos en el perfil, aspecto que se alinea con la composición silícea esperada en depósitos de ceniza volcánica.

La presencia continua de ceniza en profundidad, especialmente en las calicatas con perfil natural y en la trinchera, confirma la representatividad local de la Formación Pachía dentro del área de estudio. Esta homogeneidad litológica en los niveles más profundos es importante en la interpretación de la capacidad portante del terreno, así como en la evaluación de su comportamiento ante cargas y potencial de colapsabilidad, variables que serán definidas con mayor precisión a través de los ensayos de laboratorio complementarios. Ver las secciones geológicas SG-01 y SG-02 en anexos.

Los resultados de densidad húmeda obtenidos en campo muestran una clara diferenciación entre los materiales identificados en las distintas calicatas y la

trinchera. Las muestras correspondientes a ceniza volcánica natural (C-01, C-05, C-06 y T-01a) presentan valores de densidad más elevados, oscilando entre 1,250 y 1,386 g/cm³, lo que refleja una mayor compactación y cohesión propia de los depósitos volcánicos consolidados.

En contraste, las muestras clasificadas como relleno (C-02, C-03, C-04 y C-07) exhiben densidades húmedas más bajas, en un rango de 1,170 a 1,234 g/cm³, indicando un material menos compacto y con mayor porosidad, probablemente debido a su naturaleza heterogénea y procesos de deposición antrópica que generan una estructura menos consolidada.

Este comportamiento es esperado, dado que los rellenos suelen presentar una compactación variable y menores grados de consolidación comparados con los depósitos naturales. La trinchera T-01a, con la densidad más alta registrada, confirma la consistencia y homogeneidad de la ceniza volcánica en el área de estudio, lo que refuerza su representatividad en la formación geológica local.

6.2. Propiedades físicas

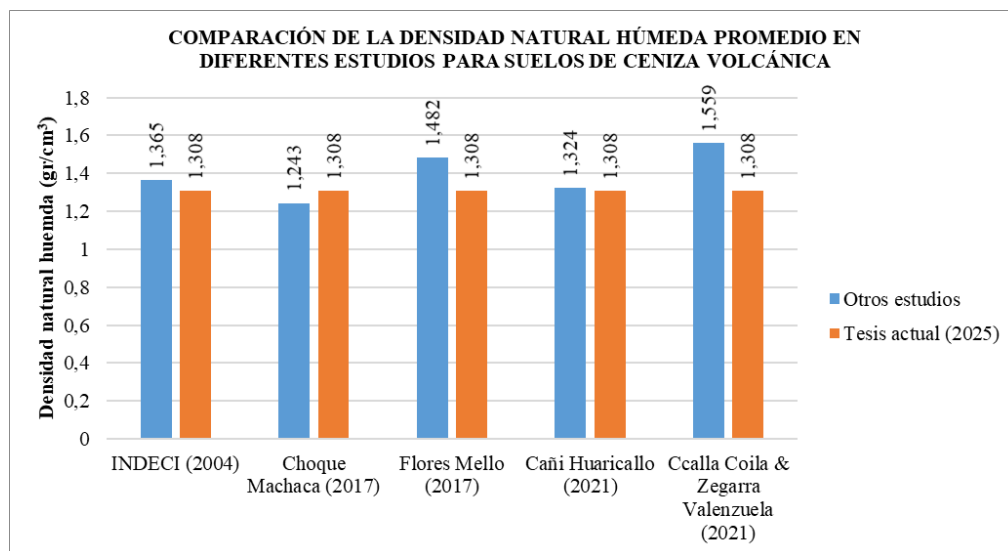
En los estudios realizados en Tacna, se ha observado una variabilidad en la densidad natural húmeda de los depósitos de cenizas volcánicas. Según INDECI (2004), en el distrito de Pocollay, la densidad natural húmeda in situ presenta un promedio de 1,365 gr/cm³. Choque Machaca (2017), sostiene que también en Pocollay, reporta un valor promedio de 1,243 gr/cm³. Por otro lado, Flores Mello

(2017) indica que en el distrito de Ciudad Nueva, indica que la densidad natural promedio se ubica en $1,482 \text{ gr/cm}^3$, mientras que Cañi Huaricallo (2021) reporta un promedio de $1,324 \text{ gr/cm}^3$ en el distrito del Alto de la Alianza. Finalmente, Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021) concluyeron que la densidad natural se encuentra en un promedio de $1,559 \text{ gr/cm}^3$ en el distrito de Calana.

En el presente trabajo, los valores de densidad natural in situ para los depósitos de ceniza volcánica alcanzaron un promedio de 1.308 gr/cm^3 de, lo cual es consistente con los rangos reportados en Pocollay y ligeramente inferiores a los valores observados en Ciudad Nueva y Calana. Esta variabilidad puede atribuirse a los factores como profundidad de muestreo y el grado de empaquetamiento natural de las cenizas volcánicas al momento de realizar los ensayos in situ. En el caso de Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021), en el distrito de Calana, las densidades se determinaron en calicatas con profundidad máxima de hasta 3m, mientras que Flores Mello (2017) reporta mayores valores de densidad en Ciudad Nueva, atribuibles al mayor grado de empaquetamiento natural de los suelos, a pesar de que la profundidad de calicatas fue variable desde 0,90 m a 3 m. En comparación las calicatas de este estudio alcanzaron una profundidad máxima de 1,93 m. Ver figura 13.

Figura 13:

Gráfica de barras de la comparación de las densidad natural húmeda promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica



Nota: Valores promedio de densidad natural húmeda in situ en suelos de ceniza volcánica según diferentes estudios.

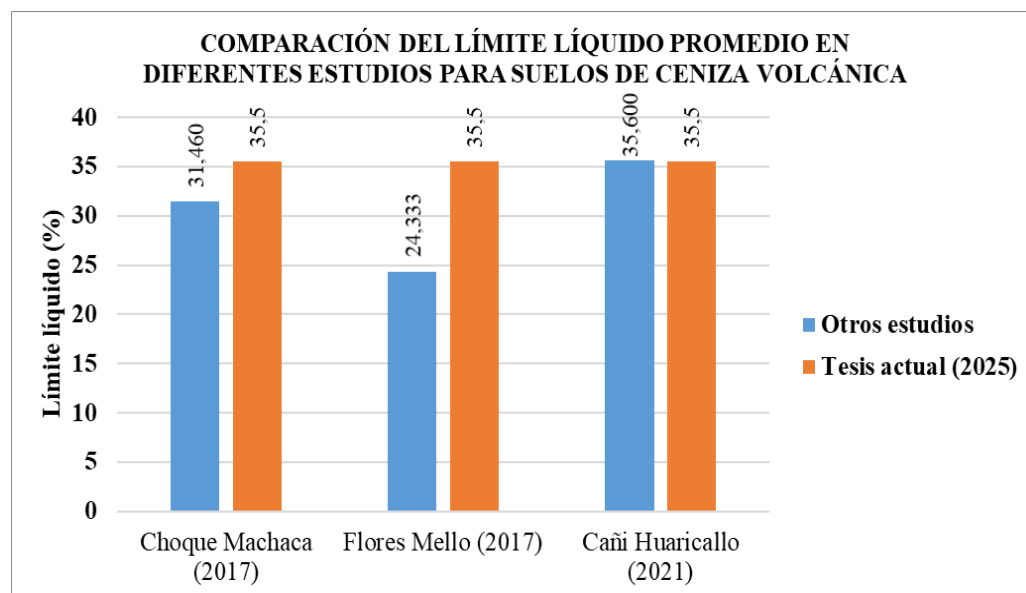
En lo que respecta a los límites líquidos, también se observa variabilidad entre los diferentes estudios realizados en Tacna. Así, en Pocollay, Choque Machaca (2017) reporta un promedio de 31,46%, mientras que, en Ciudad Nueva, Flores Mello (2017) obtiene un valor menor, de 24,33%. Mientras, en el Alto de la Alianza, Cañi Huaricallo (2021) presenta un valor promedio de 35,6%. Por su parte, Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021), en Calana, clasifican el material como NP.

Los resultados de límite líquido para los depósitos de ceniza volcánica en el

presente estudio demostraron un promedio de 35,5%, lo cual es consistente con los otros estudios anteriores. La ausencia del límite líquido definido en el estudio de Calana demuestra la variabilidad geotécnica de los depósitos de ceniza volcánica. Ver figura 14.

Figura 14:

Gráfica de barras de la comparación del límite líquido promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica



Nota: Valores promedio de límite líquido en suelos de ceniza volcánica según diferentes estudios.

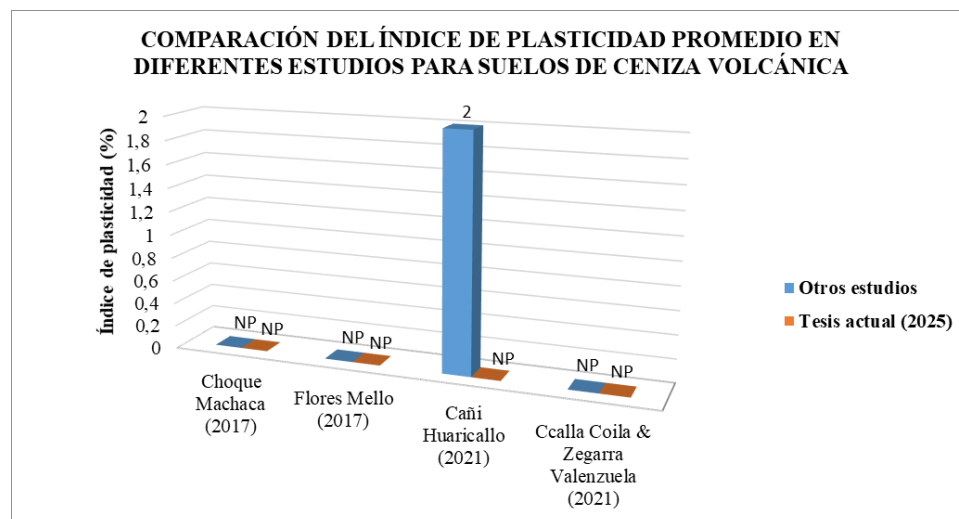
Los estudios realizados por Choque Machaca (2017), Flores Mello (2017) y Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021) muestran que los depósitos de ceniza volcánica no presentan índice de plasticidad (NP), sin embargo Cañi Huaricallo

(2021) reporta un índice de plasticidad promedio de 2%, señalando un comportamiento apenas plástico.

Los resultados del presente estudio para los depósitos de ceniza volcánica se clasificaron como materiales no plásticos (NP), coincidiendo con la mayoría de los estudios previos. Esto demuestra que las cenizas volcánicas presentan plasticidad muy baja a nula. Ver figura 15.

Figura 15:

Gráfica de barras de la comparación del índice de plasticidad promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica



Nota: Valores promedio del índice de plasticidad en suelos de ceniza volcánica según diferentes estudios. Los valores “NP” fueron graficados como cero “0” para fines comparativos, sin equivalencia numérica.

Los depósitos de ceniza volcánica, tanto en el presente estudio como en

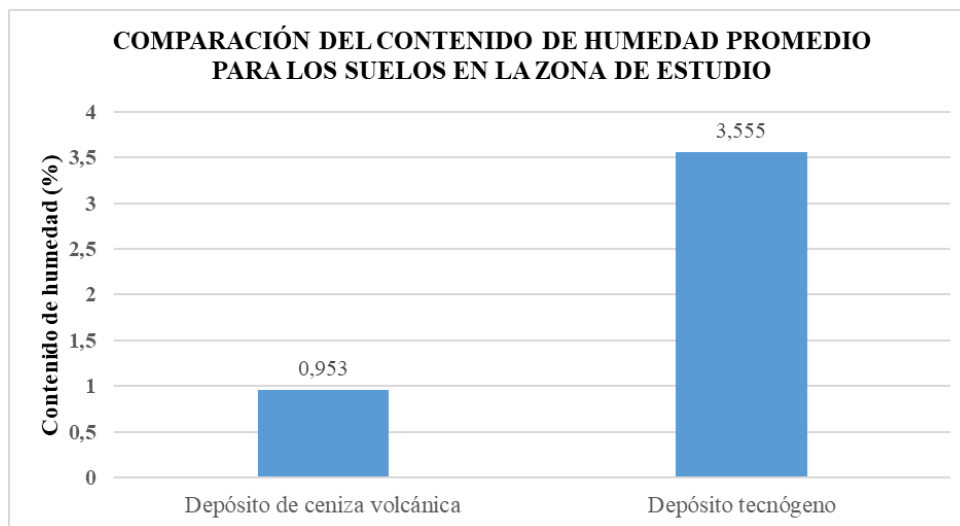
investigaciones previas (INDECI, 2004; Choque Machaca, 2017; Flores Mello, 2017; Cañi Huaricallo, 2021; Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela, 2021) se clasifican consistentemente como SM (arenosos limosos) según el sistema SUCS. Asimismo, el análisis granulométrico muestra que los suelos están compuestos principalmente por fracciones arenosas y finas, con contenidos de arena entre 48,86% y 55,72%, y finos entre 31,14% y 44,59%. La fracción de grava está presente en proporciones menores, entre 6,55% y 15,47%, lo cual es consistente con un depósito de origen volcánico. Esto indica que, a pesar de la variabilidad en la densidad, límite líquido y plasticidad, la granulometría predominante está compuesta por arena con contenido significativo de limo.

En la zona de estudio se observó que el contenido de humedad natural del suelo en estado inalterado fue superior al del suelo de relleno, a pesar de tener características granulométricas similares. En el caso del depósito de ceniza volcánica, el contenido de humedad natural promedio es de 0,95%, mientras que en el depósito tecnógeno el valor promedio es de 3,56%. Este comportamiento puede explicarse por el tiempo de exposición y evolución natural del suelo in situ, que ha alcanzado un equilibrio hídrico con su entorno. Además, según Juárez y Rico (2006), menciona que la compactación de los suelos resulta en el aumento de su resistencia que se obtienen mediante técnicas para aumentar su peso específico seco, disminuyendo sus vacíos. En contraste, el relleno, al haber sido colocado recientemente, posee una estructura más suelta y heterogénea, lo que favorece el

aumento de sus vacíos y consecuentemente mayor humedad.

Figura 16:

Gráfica de barras de la comparación del contenido de humedad promedio para los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores promedios del contenido de humedad en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno de la zona de estudio.

6.3. Propiedades mecánicas

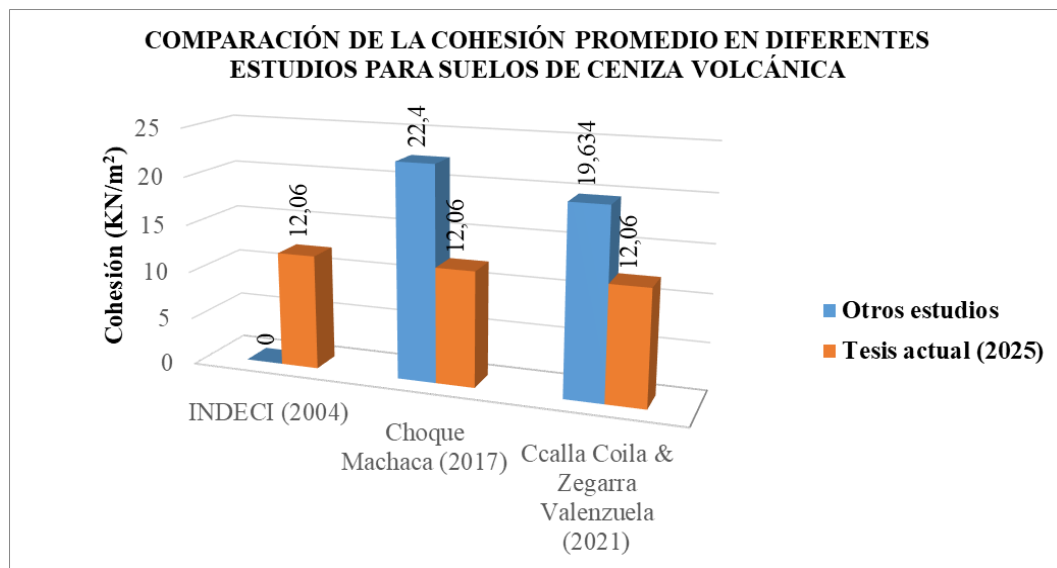
En relación con la cohesión de los depósitos de ceniza volcánica, los estudios previos muestran una variabilidad significativa. Es así que INDECI (2004), en el distrito de Pocollay, reporta valores nulos de 0 KN/m^2 , mientras que Choque Machaca (2017), también en Pocollay indica un valor promedio de $22,4 \text{ KN/m}^2$ ($0,228 \text{ Kg/cm}^2$). Por otro lado, Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021), en el

distrito de Calana, presentan una cohesión promedio de 19,634 KN/m² (0,200 Kg/cm²).

Los resultados de cohesión para los depósitos de ceniza volcánica en el presente estudio demostraron un valor de 12,06 KN/m² (0,123 Kg/cm²), lo cual es variable con los otros estudios anteriores, atribuible a factores como el grado de compactación natural, contenido de humedad, plasticidad y heterogeneidad granulométrica de los depósitos. Ver figura 17.

Figura 17:

Gráfica de barras de la comparación de la cohesión promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica

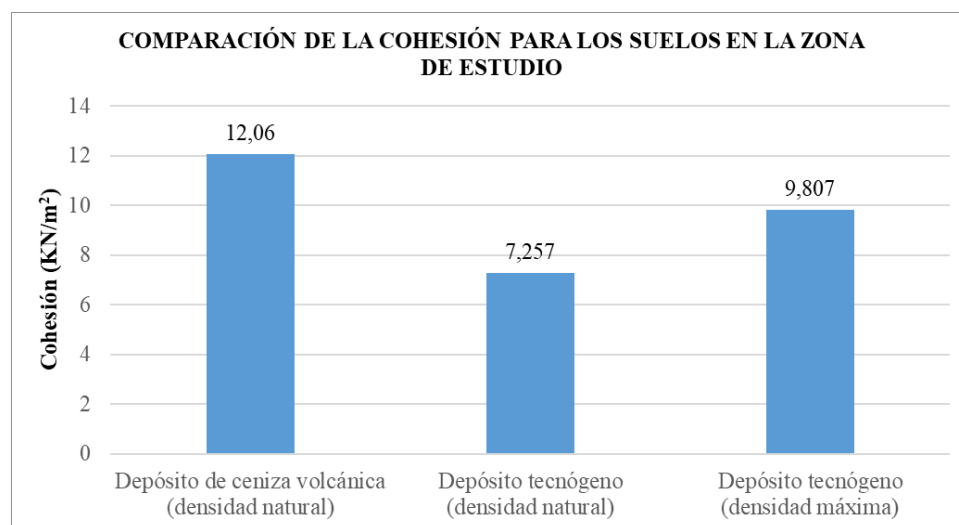


Nota: Los valores fueron obtenidos de los resultados de cada autor y procesados para fines comparativos.

En los suelos correspondientes a la zona de estudio se muestran los resultados de la cohesión obtenidos del ensayo de corte directo realizados en las muestras representativas de las calicatas C-03, C-04 y la trinchera T-01a. Para el depósito de cenizas volcánicas (muestra T-01a), bajo condiciones de densidad natural, se determinó una cohesión de 12,06 KN/m² (0,123 Kg/cm²). En el caso de los depósitos tecnógenos representados por las muestras C-03 y C-04, los valores de cohesión bajo densidad natural presentaron un promedio de 7,257 KN/m² (0,074 Kg/cm²). Por su parte, la muestra C-04, ensayado adicionalmente bajo densidad máxima (obtenida en proctor), registró una cohesión de 9,807 KN/m² (0,100 Kg/cm²), evidenciando una mejora en los parámetros resistentes al incrementar la compactación.

Figura 18:

Gráfica de barras de la comparación de la cohesión para los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores promedios de la cohesión en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno de

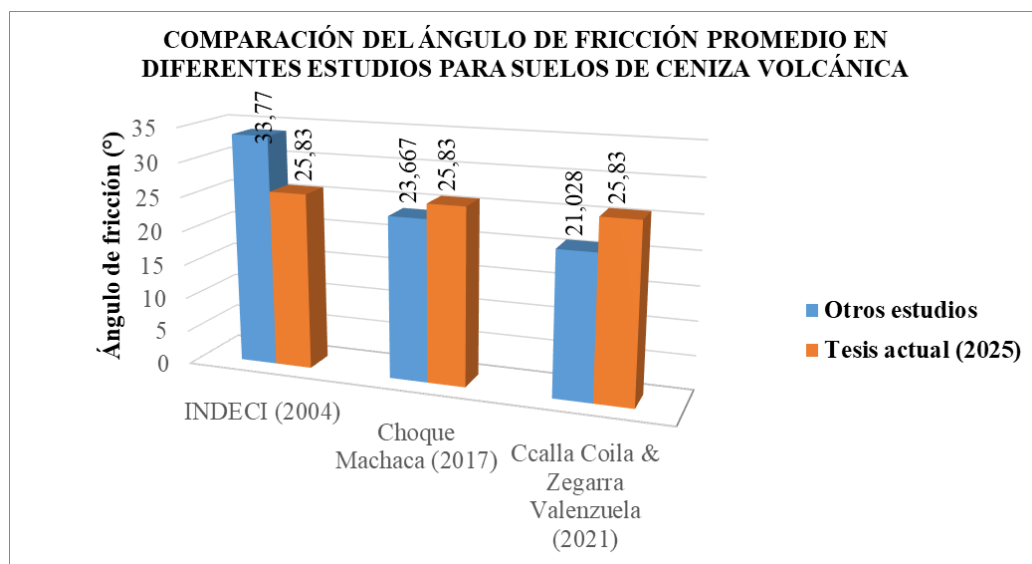
la zona de estudio.

De manera análoga, se compararon los valores de ángulo de fricción de los depósitos de ceniza volcánica. INDECI (2004) reporta un valor de $33,77^\circ$, mientras que Choque Machaca (2017), indica $23,67^\circ$. Por otro lado, Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021) presentan un valor promedio de $21,08^\circ$.

En el presente estudio, el ángulo de fricción determinado fue de $25,83^\circ$, lo que se encuentra dentro del rango de los estudios anteriores. Ver figura 18.

Figura 19:

Gráfica de barras de la comparación del ángulo de fricción promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica

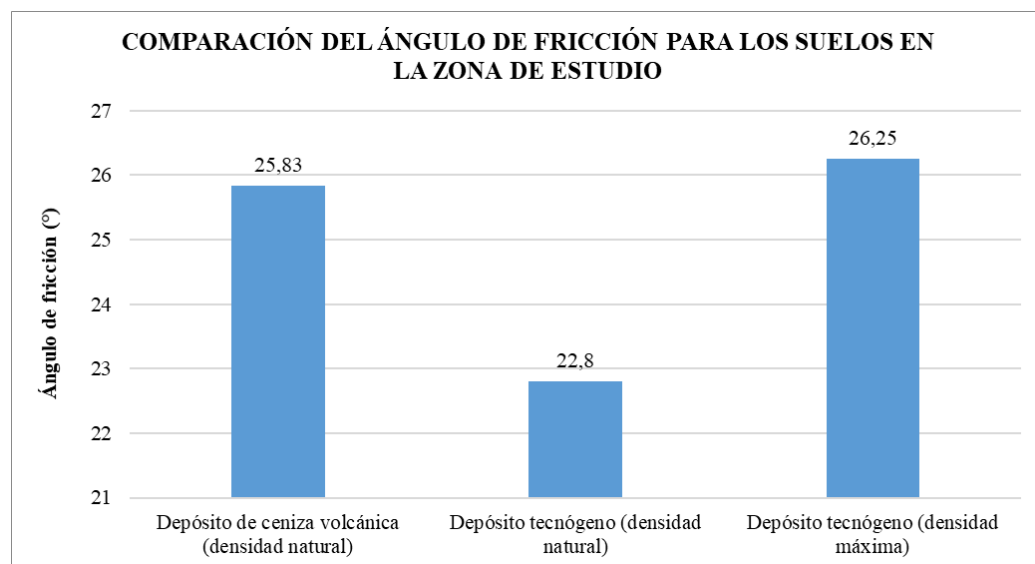


Nota: Los valores fueron obtenidos de los resultados de cada autor y procesados para fines comparativos.

En cuanto a la zona de estudio, el depósito de cenizas volcánicas correspondiente a la muestra T-01a presentó, bajo condiciones de densidad natural, un ángulo de fricción de $25,83^\circ$. Por su parte, los depósitos tecnógenos representados por las muestras C-03 y C-04 mostraron un ángulo de fricción promedio de $22,8^\circ$, valor inferior al de la ceniza volcánica. Finalmente, la muestra C-04 ensayada bajo densidad máxima (obtenida en proctor), registró un ángulo de fricción de $26,25^\circ$. Ver figura 20.

Figura 20:

Gráfica de barras de la comparación del ángulo de fricción para los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores promedios del ángulo de fricción en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno de la zona de estudio.

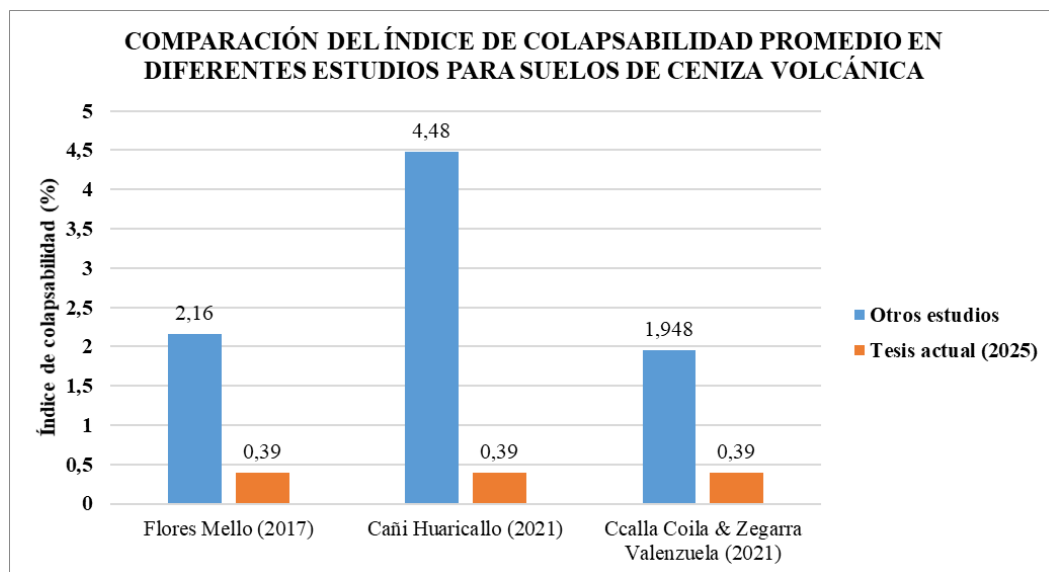
6.4. Evaluación del potencial de colapso

De acuerdo con el comportamiento colapsable de los depósitos de ceniza volcánica, los estudios previos evidencian una variabilidad significativa, atribuible a la heterogeneidad de estos suelos y las cargas aplicadas durante los ensayos. Flores Mello (2017), reporta valores de índice de colapso de 2,16% (clasificado como moderado) bajo una carga aplicada de 2 Kg/cm². De manera similar, Cañi Huaricallo (2021) determina un índices de colapso de 4,48% (moderado) bajo una carga de 1 Kg/cm², evidenciando una mayor susceptibilidad al colapso incluso a esfuerzos relativamente bajos. Por otro lado, Ccalla Coila & Zegarra Valenzuela (2021) reportan un índice de colapsabilidad de 1,95% (leve) bajo la carga de 2 Kg/cm², lo cual confirma la sensibilidad estructural de las cenizas volcánicas frente a procesos de saturación y cambios en el estado de esfuerzos.

En este estudio, los resultados del índice de colapsabilidad para los depósitos de ceniza volcánica alcanza un valor de 0,39% (leve) bajo una carga de 2 Kg/cm², siendo menor a los valores reportados en investigaciones previas. Ver figura 21.

Figura 21:

Gráfica de barras de la comparación del índice de colapsabilidad promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica



Nota: Los valores del índice de colapsabilidad fueron obtenidos de los resultados de cada autor y procesados para fines comparativos.

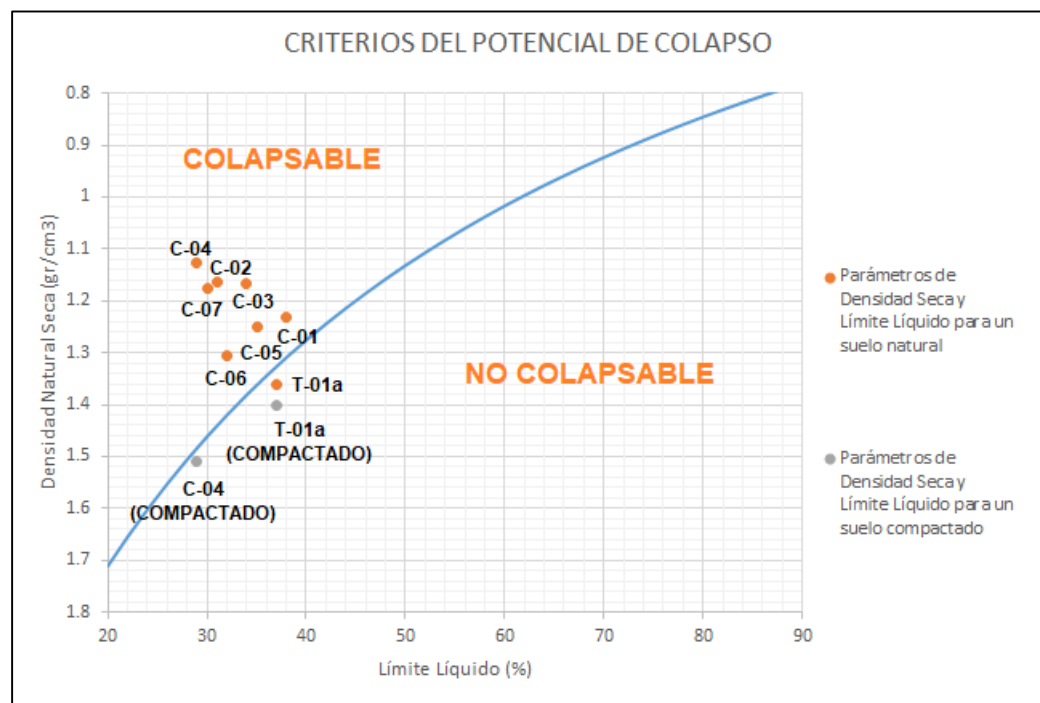
Para la zona de estudio se clasificó el potencial de colapso según la gráfica de “Criterios del potencial de colapso” figura extraída del RNE E-050 (2020) para evaluar el colapso a partir de la combinación de la densidad seca y el límite líquido, este método permite identificar tendencias de comportamiento colapsable aun en casos donde el número de ensayos de colapsabilidad es limitado. Como se puede observar en la figura 22 indica que los suelos de estudio, extraído de las ocho excavaciones estudiadas, presenta un comportamiento característico de suelos colapsables. Los resultados muestran que los suelos naturales de cenizas volcánicas

excavadas a menor profundidad ($< 1,90$ m) y rellenos de origen volcánicos presentan densidades secas bajas y límites líquidos moderados, ubicándose en la zona clasificada como “Colapsable”. Por otro lado, los suelos de cenizas volcánicas excavadas a mayor profundidad 1,90 m (T-01a) y suelos compactados (C-04 y T-a), presentan densidades mayores y se ubican en la zona “No Colapsable”

Estas tendencias coinciden con los resultados experimentales obtenidos en las calicatas C-04 y T-01a, confirmando la coherencia del comportamiento geotécnico.

Figura22:

Gráfica del criterio del potencial de colapso aplicado para los suelos en la zona de estudio

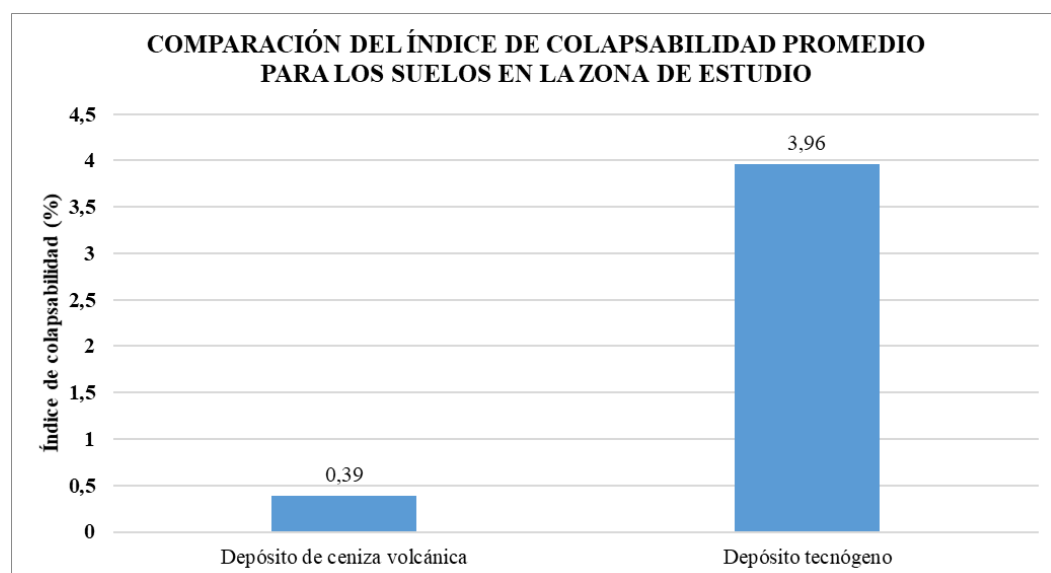


Nota: Valores de densidad natural seca vs Límite líquido para los suelos de cenizas volcánicas y relleno de la zona de estudio para la definición del potencial de colapso.

Para la verificación de existencia de colapsabilidad se ha evaluado el potencial de colapso mediante el edómetro bajo una carga de 2 Kg/cm² cuyos resultados se observan en la tabla 29 obteniéndose para la muestra de relleno C-04 un índice de colapso de 3,96% (clasificado como moderado) y para la muestra natural de ceniza volcánica T-01a se obtuvo un índice de colapso de 0,39% (leve). Los resultados obtenidos del laboratorio se han clasificado en base a la propuesta por el RNE-NTP 339.163.

Figura 23:

Gráfica de barras de la comparación del índice de colapsabilidad para los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores del índice de colapsabilidad en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno en la zona de estudio.

Los resultados evidencian que el depósito tecnógeno de origen volcánico

presenta un mayor riesgo de colapso en comparación con el depósito natural. Esta diferencia se atribuye principalmente al grado de densificación del material, tal como lo señala Gonzales de Vallejo (2002), siendo notable al comparar las densidades naturales de ambos tipos de depósitos.

6.5. Cimentación

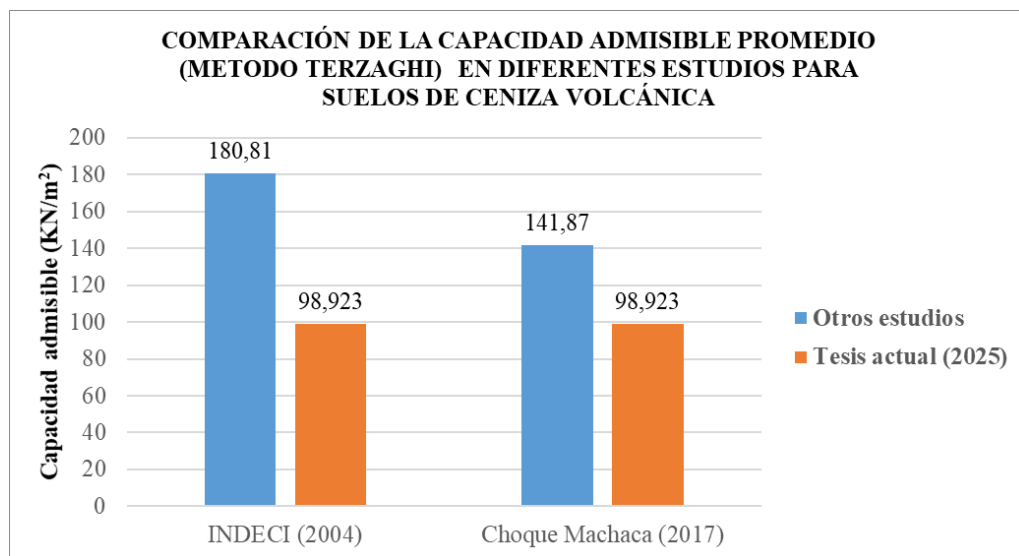
Se determinaron la capacidad admisible (Q_{adm}) del depósito de ceniza volcánica empleando el criterio de Terzagui para cimentaciones superficiales. Valores obtenidos se compararon con estudios previos desarrollados en depósitos volcánicos con características similares en el distrito de Pocollay.

INDECI (2004) reportó una capacidad admisible de $180,81 \text{ KN/m}^2$ (1.844 Kg/cm^2) correspondiente a una profundidad de cimentación de 1,20 m. Por otro lado, Choque Machaca (2017) obtuvo valores de capacidad admisible para profundidades comprendidas entre 1,45 m y 1,80 m; con fines comparativos, dichos valores fueron promediados, obteniéndose un valor representativo de $141,87 \text{ KN/m}^2$ ($1,447 \text{ Kg/cm}^2$). Se precisa que el promedio empleado no reemplaza los valores originales ni representa un valor de diseño.

De acuerdo a la presente investigación se reportó una capacidad admisible de $98,923 \text{ KN/m}^2$ ($1,009 \text{ Kg/cm}^2$) a una profundidad de 1,50 m y de $109,753 \text{ KN/m}^2$ ($1,120 \text{ Kg/cm}^2$) a la profundidad de 1,90 m.

Figura 24:

Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible promedio en diferentes estudios para suelos de ceniza volcánica



Nota: Los valores de la capacidad admisible fueron obtenidos de los resultados de cada autor y procesados para fines comparativos.

El resultado del INDECI (2004) como se observa en la figura 24, muestra un valor mayor en comparación con los otros dos resultados. Al verificar la metodología empleada, se constató que se utilizó la ecuación modificada de Terzaghi para una cimentación cuadrada. En contraste los otros dos resultados se calcularon considerando cimentaciones con falla de corte local por ser más conservador y apropiado para el suelo colapsable de ceniza volcánica.

Con respecto a la capacidad admisible obtenida en la zona de estudio para los suelos de ceniza volcánica y relleno, se han evaluado mediante el método de

Meyerhof y Terzaghi, considerando dos mecanismos de falla: corte general y corte local. Para ello, se analizaron muestras representativas de las calicatas realizadas en el área de estudio, específicamente las calicatas C-03, C-04 y T-01a en su densidad natural, además de una muestra remoldeada de C-04 compactada a su densidad máxima óptima obtenida mediante ensayo Proctor.

El análisis comparativo de las capacidades de carga admisibles obtenidas mediante las teorías de Terzaghi y Meyerhof evidencia diferencias significativas derivadas de los supuestos y factores de corrección empleados en cada modelo. Según los resultados de las tablas 37 a 38, la capacidad de carga bajo el mecanismo de falta por corte general supera consistentemente a la calculada para falla por corte local, lo que se espera dada la naturaleza más severa y localizada del último mecanismo.

En el caso de la muestra T-01a, correspondiente a depósitos de ceniza volcánica, se observa que la densidad natural relativamente alta ($1,386 \text{ g/cm}^3$) contribuye a una mayor resistencia del suelo, reflejada tanto en Terzaghi como en Meyerhof. Sin embargo, los valores calculados mediante Meyerhof presenta un incremento de aproximadamente 30-35% respecto a Terzaghi, atribuido a la inclusión de factores de corrección por profundidad de cimentación, forma de zapata e inclinación de carga.

Por su parte, las muestras C-03 y C-04, correspondientes a material de

relleno, muestran densidades naturales bajas ($1,208 - 1,170 \text{ g/cm}^3$), lo que se traduce para un mismo ángulo de fricción en capacidades admisibles más reducidas según Terzaghi, de 20 a 30% de los valores de Meyerhof.

Dado que el material estudiado corresponde a los depósitos de cenizas volcánicas y rellenos, clasificados ambos como SM, se decidió aplicar ambas formulaciones como efecto comparativo, brindando un intervalo de diseño más realista.

Tabla 37

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1.50 m de profundidad según Terzaghi y Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

Calicata	Profundidad	Densidad	Peso específico	TEORÍA DE TERZAGHI				TEORÍA DE MEYERHOF	
				Falla por corte general (Qadm)		Falla por corte local (Qadm)		(Qadm)	
	m	gr/cm ³	KN/m ³	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,50	1,208	11,850	1,650	161,819	0,683	66,986	2,223	218,061
C-04	1,50	1,756	17,226	2,723	267,088	1,059	103,855	3,750	367,913
C-04	1,50	1,170	11,478	1,147	112,551	0,520	51,008	1,497	146,853
T-01a	1,50	1,386	13,597	2,570	252,163	1,008	98,923	3,544	347,672

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi y Meyerhof. Los valores corresponden a densidad natural

de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Tabla 38

Capacidad de carga admisible de los suelos a 1.90 m de profundidad según Terzaghi y Meyerhof para las calicatas C-03, C-04 y T-01a.

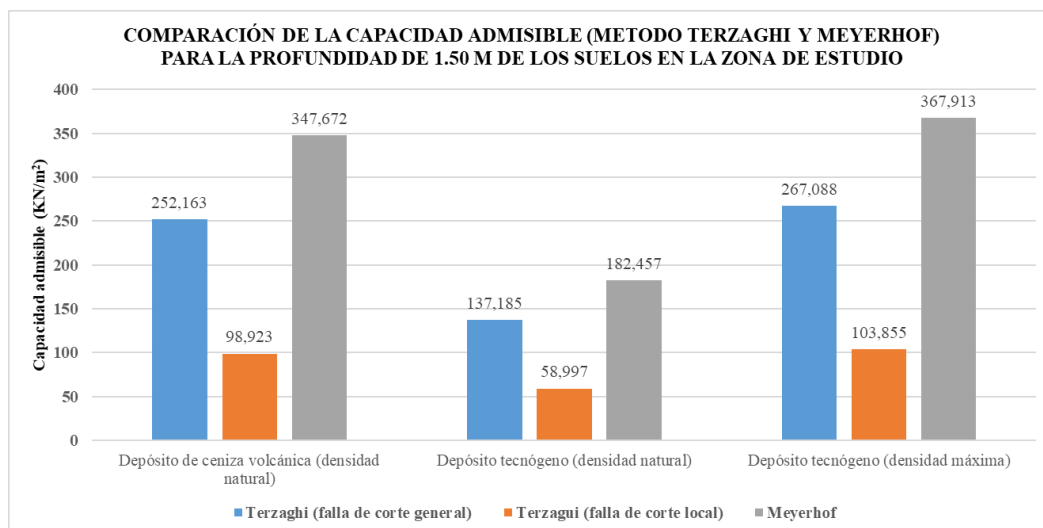
Calicata	Profundidad	Densidad	Peso específico	TEORÍA DE TERZAGHI			TEORÍA DE MEYERHOF		
				Falla por corte general (Qadm)		Falla por corte local (Qadm)	(Qadm)		
	m	gr/cm ³	KN/m ³	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²	Kg/cm ²	KN/m ²
C-03	1,90	1,208	11,850	1,838	180,311	0,768	75,347	2,627	257,743
C-04	1,90	1,756	17,226	3,065	300,697	1,203	118,032	4,473	438,757
C-04	1,90	1,170	11,478	1,282	125,718	0,587	57,566	1,772	173,821
T-01a	1,90	1,386	13,597	2,828	277,465	1,119	109,753	4,148	406,936

Nota: Capacidad de carga admisible calculada mediante la teoría de Terzaghi y Meyerhof. Los valores corresponden a densidad natural de los suelos, para C-04 se calculó también empleando la densidad máxima seca obtenida mediante Proctor modificado.

Adicionalmente, la inclusión de una muestra remoldeada compactada a densidad máxima evidencia la importancia del control de la compactación para proyecto. La muestra C-04 del material de relleno se remoldeó a la densidad máxima de $1,756 \text{ gr/cm}^3$ en la que se obtuvo una capacidad admisible por falla de corte local ($103,855 \text{ KN/m}^2$) $1,059 \text{ Kg/cm}^2$ y ($118,032 \text{ KN/m}^2$) $1,203 \text{ Kg/cm}^2$ a la profundidad de 1,50 m y 1,90 m respectivamente. La mejora observada en la capacidad admisible en esta condición confirma que la correcta preparación y densificación del terreno puede aumentar significativamente la resistencia del suelo y reducir la susceptibilidad a fallas locales. Ver figura 25 y 26.

Figura 25:

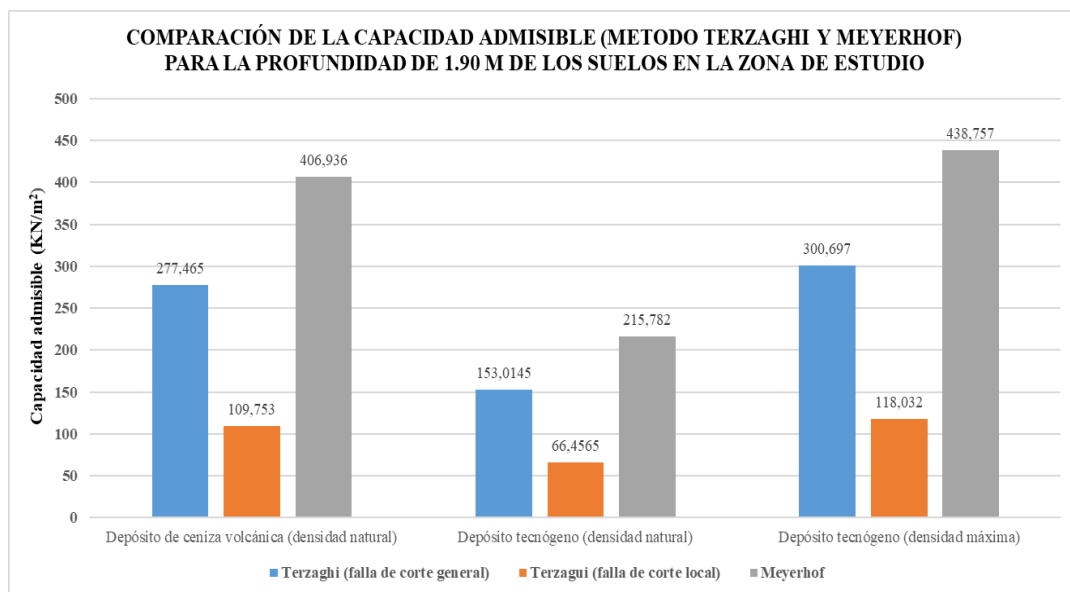
Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible (método de Terzaghi y Meyerhof) para la profundidad de 1,50 m de los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores de la capacidad admisible en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno en la zona de estudio.

Figura 26:

Gráfica de barras de la comparación de la capacidad admisible (método de Terzaghi y Meyerhof) para la profundidad de 1,90 m de los suelos en la zona de estudio



Nota: Valores de la capacidad admisible en depósitos de ceniza volcánica y tecnógeno en la zona de estudio.

Finalmente, se observa que el aumento en la profundidad de cimentación de 1,50 m a 1,90 m genera un incremento moderado en la capacidad de carga admisible, atribuible a la mayor densidad y resistencia inherente a capas más profundas del suelo.

6.6. limitaciones de representatividad espacial

La investigación contempla la ejecución de siete (7) calicatas y una (1) trinchera, la representatividad espacial de los resultados está condicionada por la naturaleza

heterogénea del subsuelo. En el área de estudio coexisten depósitos piroclásticos naturales junto con rellenos antrópicos cuya composición, densidad, humedad, parámetros de corte e índice de colapso varía entre sectores. Debido a esta variabilidad y a la discontinuidad del depósito, los parámetros geotécnicos obtenidos deben considerarse como valores puntuales y localmente representativos del entorno inmediato de cada excavación.

Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

- Se logró determinar las características geológicas y geotécnicas del área de estudio en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna, empleando la metodología propuesta en la presente investigación.
- Se identificó que el área de estudio está controlada geomorfológicamente por tres unidades diferenciadas: Lomada, cauce natural y cauce modificado. Estas unidades condicionan la distribución y espesor de los suelos colapsables. Geológicamente, el subsuelo está conformado por depósitos tecnógenos de relleno de cenizas volcánicas, depósitos eluviales y la formación Pachia como unidad más competente.
- Los ensayos geotécnicos permitieron caracterizar los suelos predominantes en el área de estudio, identificándose principalmente dos tipos de materiales: las cenizas volcánicas de la formación Pachia y rellenos compuestos por cenizas volcánicas.

En el caso de las cenizas volcánicas en estado natural, su clasificación granulométrica correspondió al grupo SM (arena limosa) según el sistema SUCS y A-2-4 según la metodología de AASHTO. Estos materiales

presentan humedades naturales que varían entre 0,67% a 1,74% con densidades secas de 1,232 a 1,360 gr/cm³, índice de plasticidad no plástico, y una gravedad específica de 2,220. En cuanto a sus propiedades mecánicas, se obtuvo un ángulo de fricción interna de 25,83° y cohesión de 0,123 Kg/cm².

El depósito tecnógeno constituido por rellenos de cenizas volcánicas presentan humedades naturales relativamente mayores, entre 2,89% a 4,15%, manteniendo un comportamiento no plástico. Sus densidades secas son más bajas, variando entre 1,128 a 1,175 gr/cm³, y su gravedad específica de los sólidos es ligeramente superior, alcanzando un valor de 2,446. Estos materiales presentan un ángulo de fricción de 21,37 a 24,23° y una cohesión que varía entre 0,068 a 0,080 Kg/cm².

- El análisis de potencial de colapso realizado sobre las muestras obtenidas en campo permitió identificar diferencias significativas entre las unidades evaluadas. La muestra T-01a, correspondiente al depósito de ceniza volcánica, fue clasificado con grado de colapso leve según la clasificación del índice de colapso de la norma NTP 339.163, mientras que la muestra C-04, perteneciente al depósito de relleno, evidenció un grado de colapso moderado. La diferencia entre ambas unidades confirma que los materiales de relleno al poseer estructura suelta y menor densidad seca, son más

vulnerables al colapso bajo condiciones de carga y saturación. Los resultados obtenidos concuerdan con la literatura para suelos de cenizas volcánicas y confirman la hipótesis de que la magnitud del colapso es inversamente proporcional a la densidad seca del suelo.

- La capacidad de carga de los suelos evaluados muestra una diferencia significativa entre los depósitos de cenizas volcánicas y los rellenos volcánicos, siendo el primero más competente desde el punto de vista geotécnico.

Para la toba Pachia, la capacidad de carga admisible se determinó en 98,923 KN/m² (1,008 Kg/cm²) hasta una profundidad de desplante de 1,50 m, este valor se incrementa a 1,90 m de profundidad alcanzando un rango de 109,753 KN/m² (1,119 Kg/cm²). Se emplea el criterio de Terzaghi por falla de corte local, considerando las características del suelo, el cual presenta densidad media, asentamiento y propiedad colapsable, como la toba Pachia y los rellenos.

La capacidad admisible en depósitos tecnógenos varía entre 51,008 KN/m² (0,520 Kg/cm²) a 66,986 KN/m² (0,683 Kg/cm²) a una profundidad de desplante de 1,50 m, incrementándose a un rango de 57,566 KN/m² (0,587 Kg/cm²) a 75,347 KN/m² (0,768 Kg/cm²) a 1,90 m de profundidad.

En base a los resultados obtenidos en esta investigación y conforme a lo

establecido en la Norma Técnica E.050 del RNE (2020), los depósitos tecnógenos de la zona de estudio no son favorables para la construcción de viviendas. En contraste, las tobas Pachia presentan condiciones favorables para el desarrollo de infraestructura, siempre que se realice un diseño adecuado que considere las características geotécnicas para el tipo de suelo.

- Se determinó la compactación óptima para cada tipo de suelo mediante ensayos de Proctor modificado, obteniéndose para el depósito de cenizas volcánicas (muestra T-01a) una densidad máxima seca de $1,400 \text{ gr/cm}^3$ con un contenido óptimo de humedad de $19,85\%$, mientras que para el depósito tecnógeno (muestra C-04) se obtuvo una densidad máxima seca de $1,508 \text{ gr/cm}^3$ y un contenido óptimo de humedad de $16,44\%$.

La aplicación de estas condiciones de compactación produjo un incremento significativo en la capacidad admisible del relleno, alcanzando $103,855 \text{ KN/m}^2$ ($1,059 \text{ Kg/cm}^2$) a una profundidad de desplante de $1,50 \text{ m}$, y aumentando a $118,032 \text{ KN/m}^2$ ($1,203 \text{ Kg/cm}^2$) a $1,90 \text{ m}$ de profundidad.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda complementar la caracterización geotécnica del terreno mediante ensayos triaxiales, consolidación unidimensional y SPT para la obtención de parámetros mecánicos del suelo de fundación. También se sugiere realizar ensayos químicos para determinar la presencia de sales

solubles, sulfatos y cloruros, que pueden afectar la durabilidad de estructuras.

- Para optimizar la caracterización del suelo se recomienda aumentar la cantidad de ensayos de corte directo y potencial de colapso, con el fin de obtener resultados más representativos.
- Debido a la alta variabilidad lateral de los depósitos de ceniza volcánica y tecnógenos identificados en el área de estudio, se recomienda complementar las investigaciones con métodos geofísicos como la refracción sísmica y análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), para evaluar la continuidad lateral, rigidez y profundidad de los estratos del subsuelo, particularmente la unidad competente (tobas Pachía).
- Se recomienda evitar cimentaciones superficiales directamente sobre el depósito de relleno, debido a su baja compacidad, heterogeneidad y susceptibilidad al colapso y comportamiento colapsable. Para garantizar la estabilidad y desempeño adecuado de las cimentaciones, el relleno debe ser removido hasta interceptar la unidad natural competente (tobas Pachia). En caso de que la excavación total no sea factible, deberá implementarse un procedimiento de mejoramiento del terreno mediante compactación controlada o reemplazo del material.
- Para el control de compactación del suelo, se recomienda compactarse al

95% de la máxima densidad seca del Proctor modificado, conforme a la Norma Técnica E.050 del RNE (2020). Se sugiere utilizar como referencia los valores de la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad indicados en la tabla 23.

- Se recomienda la implementación de un sistema de drenaje en zonas donde se prevea la construcción sobre materiales de tobas volcánicas, a fin de evitar la saturación del suelo y reducir el riesgo de colapso por infiltración
- Se recomienda implementar acciones de sensibilización dirigidas a la población local, enfocadas en la importancia del control de compactación de suelos, especialmente en áreas con rellenos no controlados o suelos colapsables, con el fin de prevenir asentamientos diferenciales y daños estructurales en futuras construcciones.

Bibliografía

- (INDECI), Instituto Nacional de Defensa Civil. (2004). *Mapa de peligros de la ciudad de Tacna: distritos de Tacna, Gregorio Albarracín, Pocollay y complemento Alto de la Alianza y Ciudad Nueva*. Perú - Lima.
- (MTC), M. d. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos*. Lima - Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- (OMM & UNESCO) Organización Mundial de Meteorología y Organización de las Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2012). *International Glossary of Hydrology*. OMM - N° 385.
- (RNE), Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). *Norma E.050: Suelos y cimentaciones*. Lima - Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO.
- (SENAMHI), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 1ra edición. (2021). *Climas del Perú: Mapa de clasificación Climática Nacional*. Lima - Perú: Red activa soluciones gráficas S.A.C.
- Acosta, H., Mamani, M., Alván, A., Oviedo, M., & Rodríguez, J. (2011). *Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca: Hojas 36-v y 36-x*. Bol. N° 139 serie A - Carta Geológica Nacional. INGEMMET.
- Aguilar Rodríguez, A. (2004). *Geografía general, 2da edición*. Pearson Educación de México.

- Bernal, J. R. (2005). *Hormigón armado: Zapatas, 1ra Edición*. Buenos aires: Nobuko.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design - 5ta edición*. Singapur - Republica de Singapur: McGraw-Hill.
- Braja M., D. (2012). *Fundamentos de ingeniería geotécnica, 7ma edición*. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Cañi Huaricallo, G. G. (2021). *Caracterización y evaluación de potencial de colapso de suelos derivados de la ceniza volcánica para prevenir problemas en cimentaciones superficiales en el distrito Alto de la Alianza - Tacna - 2020 (Tesis de maestría)*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Ccalla Coila, G., & Zegarra Valenzuela, G. A. (2021). *Evaluación del potencial de colapso en los suelos derivados de cenizas volcánicas en el distrito de Calana - Tacna 2021 (Tesis de grado)*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Choque Machaca, G. M. (2017). *Caracterización geotécnica de la ignimbrita Pachia mediante técnicas tradicionales y geofísicas de refracción sísmica y microtemores (MASW), distrito de Pocollay - Tacna, 2015 (Tesis de maestría)*. Tacna - Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones, 5ta edición*. México: Limusa noriega editores.
- Dávila Burga, J. (2011). *Diccionario geológico*. Perú: Instituto Minero y

Metalurgico (INGEMMET).

Flores Mello, A. O. (2017). *Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del puesto de salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna - 2017 - Tacna*. Perú - Tacna: Universidad Privada de Tacna.

González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid - España: Pearson Educación.

Goossens Peloggia, A. U., Dos Santos Oliveira, A. M., De Oliveira, A. A., Nesta Silva, E. C., & Rodrigues Nunes, J. O. (2014). Technogenic geodiversity: A proposal on the classification of artificial ground. *Quaternary and Environmental Geosciences (2014) 05(1):28-40*, 13.

Hernández Gutierrez, L. E., & Santamarta Cerezal, J. C. (2015). *Ingeniería geológica en terrenos volcánicos: Métodos, técnicas y experiencias en las islas canarias (Ira edición)*. Madrid - España: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación. Sexta edición*. Mexico: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V.

Hoyos Patiño, F. (2012). *Geotecnia - Diccionario Básico*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Huaman, C., & Acosta, D. (2012). *Aplicación de Refracción Sísmica y Microtremores (REMI) con fines de cimentación en la asoc. Jerusalem*

- Nueva Esperanza y la asoc. Alto Mirador, distrito de Pocollay - Tacna (tesis de pregrado)*. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Jacay, J., & Sempere, T. (2004). *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*. Lima - Perú: Publicación especial N° 5. SGP - IRD.
- Jailly Moreira, X. (2018). *Estudio del comportamiento geotécnico de un suelo colapsable frente a cimentaciones superficiales (Tesis de maestría)*. Recife - Brasil: Universidad Federal de Pernambuco.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2002). *Mecánica de suelos, Tomo II: Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2006). *Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Lee, W. A., Lee, T. S., sharma, s., & Boyce, G. M. (2002). *Slope stability and stabilization methods, second edición*. New York: John Wiley & Sons, INC.
- Little, A. (1969). *"The engineering classification of residual tropical soils"* Proc. 7th Int. Conf, Soil Mechanic Found. México City, México.
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación: Diseño y ejecución*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Palacios Moncayo, O., Sanchez Fernandez, A., & Herrera Romero, F. (1995). *Geología del Perú, 1ra edición*. Lima - Perú: Bol. N° 55, Serie A - Carta Geológica Nacional. INGEMMET.

Villalobos, F. (2016). *Mecánica de suelos, 2da edición*. Chile: Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Anexos y mapas

Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tema: “EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOCIACIÓN VIRGEN DE COPACABANA MZ. L’ LT. 6, DISTRITO DE CALANA – TACNA”

Ejecutor: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las características geológicas – geotécnicas de los suelos potencialmente colapsables en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L’ Lt. 6, distrito de Calana – Tacna, y cómo influyen en la capacidad de carga admisible para fines de cimentación de viviendas? <p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué unidades geomorfológicas y geológicas predominan en el área de estudio y cómo condicionan la presencia y distribución de suelos colapsables? - ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de los suelos 	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar las características geológicas y geotécnicas de los suelos potencialmente colapsables y su influencia en la capacidad de carga admisible con fines de cimentación de viviendas en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L’ Lt. 6, distrito de Calana - Tacna. <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificar y describir las unidades geomorfológicas y geológicas del área de estudio que condicionan la presencia de suelos colapsables. - Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos predominantes en el área de estudio. - Evaluar el índice de colapsabilidad del suelo, clasificando su grado de susceptibilidad. - Determinar la capacidad de 	<p>Hipótesis General</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los suelos volcánicos del área de estudio presentan un comportamiento colapsable cuya magnitud se relaciona inversamente con la densidad seca y afecta la capacidad de carga admisible determinada para cimentaciones superficiales. <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mediante la identificación y descripción de las unidades geomorfológicas y geológicas del área de estudio será posible determinar las condiciones que controlan la presencia y distribución de suelos colapsables. - Mediante la ejecución de calicatas y ensayos estándar de laboratorio será posible obtener las propiedades físicas, clasificación de suelos y propiedades mecánicas. - A través del ensayo de potencial de colapso se obtendrá el índice de colapsabilidad de los suelos 	<p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades geológicas - geotécnicas del terreno. <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propiedades físicas del suelo - Propiedades mecánicas del suelo. - Tipo de material del suelo. 	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>La tesis es una investigación de tipo aplicada</p> <p>Nivel de Investigación:</p> <p>El nivel de investigación de la tesis es descriptivo y exploratorio</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>El diseño de investigación es no experimental</p>

<p>predominantes en el área de estudio?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué grado de colapsabilidad presentan los diferentes tipos de suelos predominantes en el área de estudio? - ¿Cómo se modifica la capacidad de carga admisible del terreno en función del tipo de suelo en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna? - ¿De qué manera la compactación del suelo mejora las propiedades mecánicas y capacidad de carga? 	<p>carga admisible del terreno en función del tipo de suelo en la Asociación Virgen de Copacabana Mz. L' Lt. 6, distrito de Calana – Tacna.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar la compactación óptima para cada tipo de suelo y analizar el efecto sobre las propiedades mecánicas del suelo. 	<p>predominantes en el área de estudio y establecer su grado de colapso conforme a los criterios de clasificación establecidos en la norma vigente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mediante los métodos clásicos de capacidad portante de Terzagui y Meyerhof se obtendrán valores de capacidad admisible para cimentaciones superficiales apoyadas tanto en cenizas volcánicas como en material de relleno - La compactación obtenida mediante el ensayo del Proctor modificado incrementará la densidad seca de los suelos predominantes en el área de estudio (ceniza volcánica y rellenos de origen volcánico), generando una mejora en sus propiedades mecánicas, particularmente en la capacidad portante, en comparación con su condición natural no compactada. 	<p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento o geotécnico del suelo. <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad portante del suelo. - Índice de colapsabilidad.
---	---	---	--

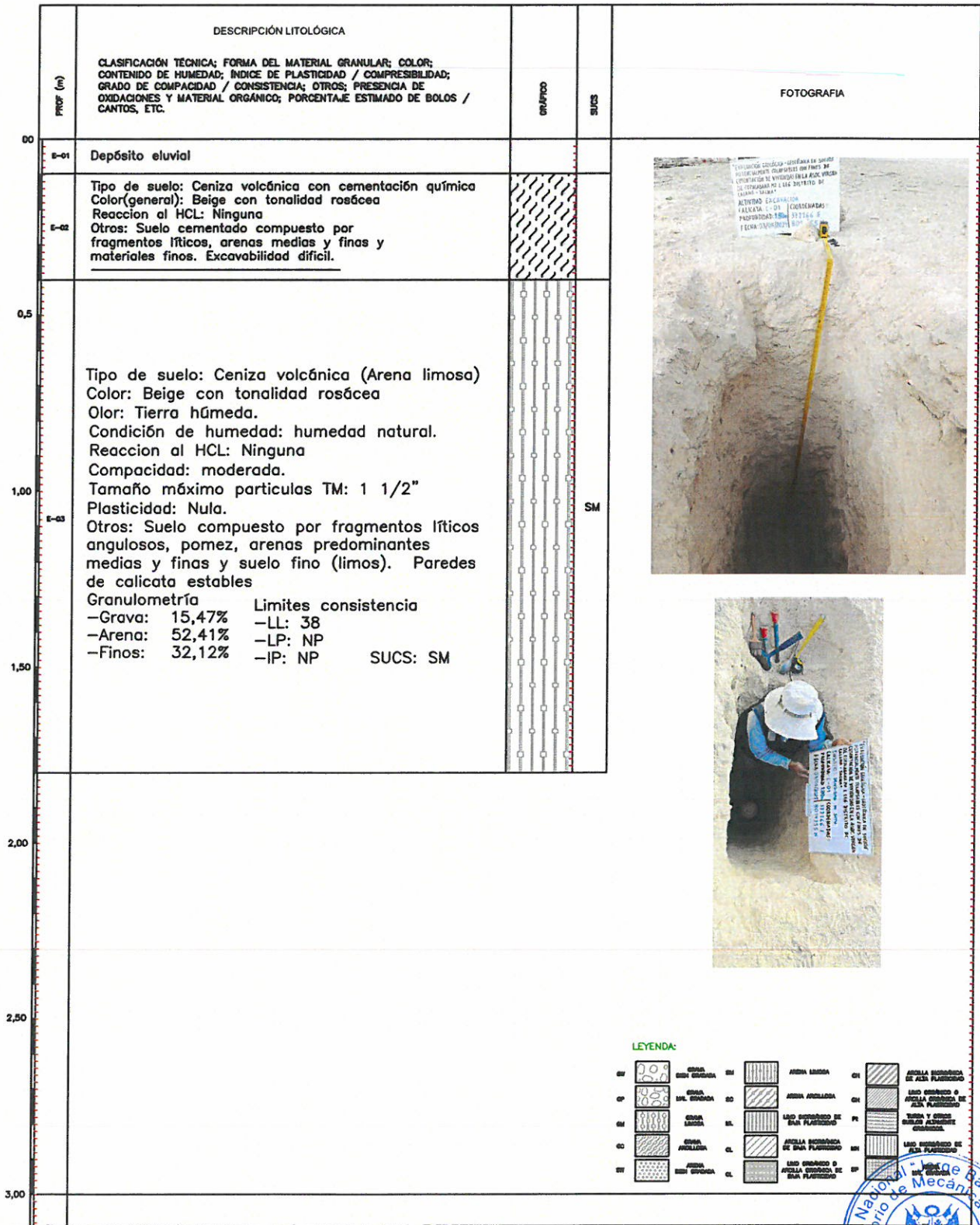
Perfiles estratigráficos



PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

**CALICATA:
C-01**

COORDENADAS: 8014255 E: 372166 Cota: 852,5 msnm	DIBUJO: E.K.C.H.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,80 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 03/05/2025	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.C.H.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.C.H.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



LEYENDA:

	GRAVA CON ARENA		ARENA GRUESA		ARENA GRUESA DE ALTA PLASTICIDAD
	GRAVA MEDIANA		ARENA MEDIANA		LODO ENDURECIDO DE ALTA PLASTICIDAD
	GRAVA FINA		LODO ENDURECIDO DE BAJA PLASTICIDAD		TIERRA Y OTROS SUELOS CON POCOS COHESIÓN
	ARENA GRUESA		ARENA GRUESA DE ALTA PLASTICIDAD		LODO ENDURECIDO DE BAJA PLASTICIDAD
	ARENA MEDIANA		LODO ENDURECIDO DE ALTA PLASTICIDAD		LODO ENDURECIDO DE BAJA PLASTICIDAD

OBSERVACIONES:

COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 18S
 TN: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC:GRÁFICA

E.K.C.H.S.

REVISADO POR:

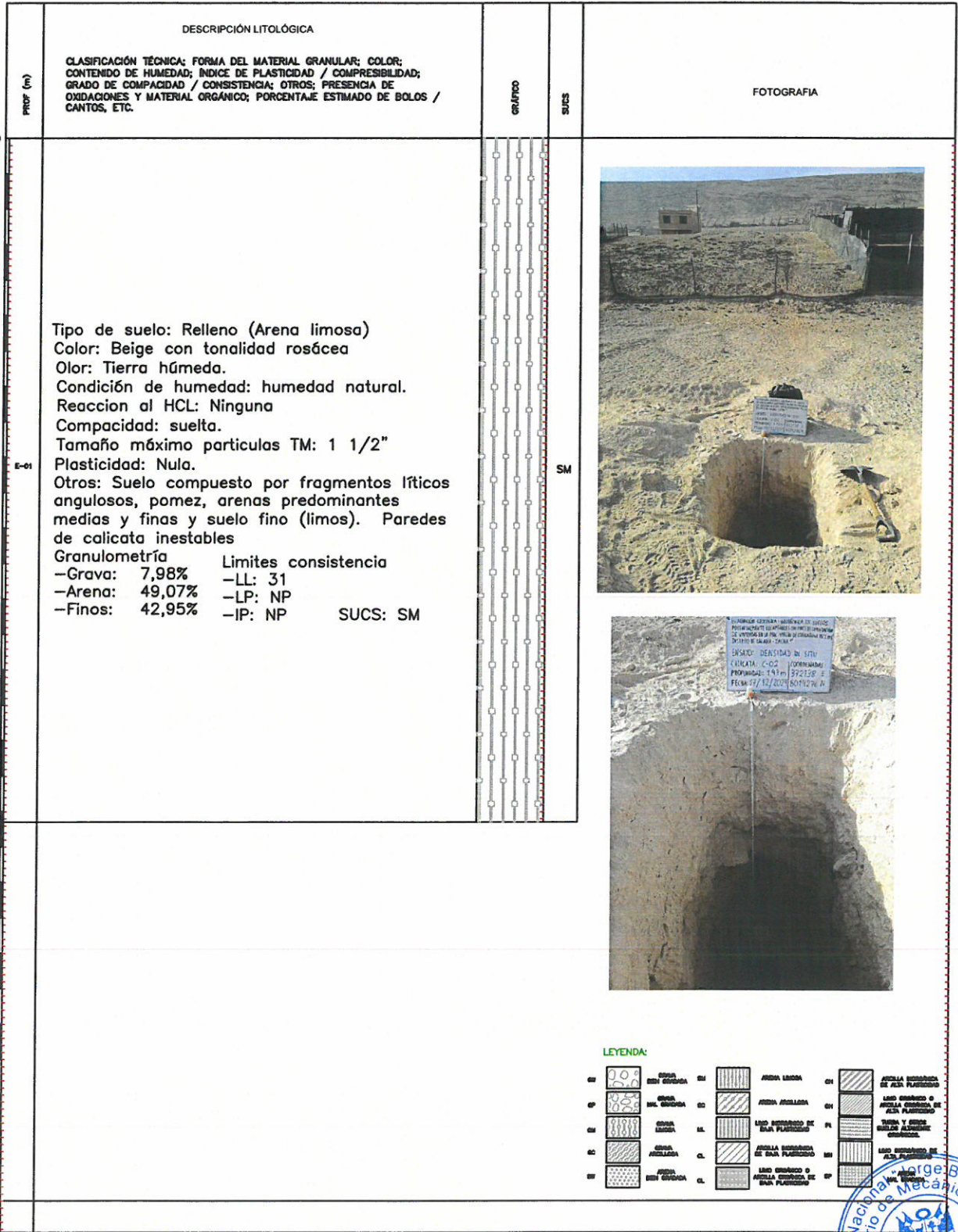
E.C.J.T.V.



PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

CALICATA:
C-02

COORDENADAS: 8014276 E: 372138 Cota: 849,0 mm	DIBUJO: E.K.CH.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,83 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 17/12/2024	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.CH.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACION: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.CH.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



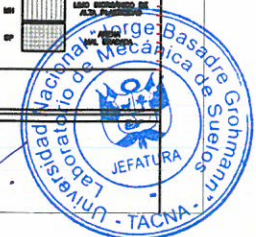
LEYENDA:

SI	SUELO BIEN GRUADO	SI	ARENA LIMSA	SI	ARELLA BARRUDA DE BAJA PLASTICIDAD
SP	SUELO MAL GRUADO	SD	ARENA ARELLADA	SN	LEMO GRUADO O ARELLA GRUADA DE ALTA PLASTICIDAD
SM	SUELO MEDIO GRUADO	SL	LEMO BARRUDO DE BAJA PLASTICIDAD	SN	TERRA Y ARCILLAS BARRUDAS
SC	SUELO ARELLADO	CL	ARELLA BARRUDA DE BAJA PLASTICIDAD	SN	LEMO BARRUDO DE ALTA PLASTICIDAD
SE	ARENA BIEN GRUADA	CL	LEMO GRUADO O ARELLA GRUADA DE BAJA PLASTICIDAD	SN	LEMO BARRUDO DE ALTA PLASTICIDAD

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMARO MÁXIMO
 ESC:GRÁFICA

E. K. Ch. S.

REVISADO POR:

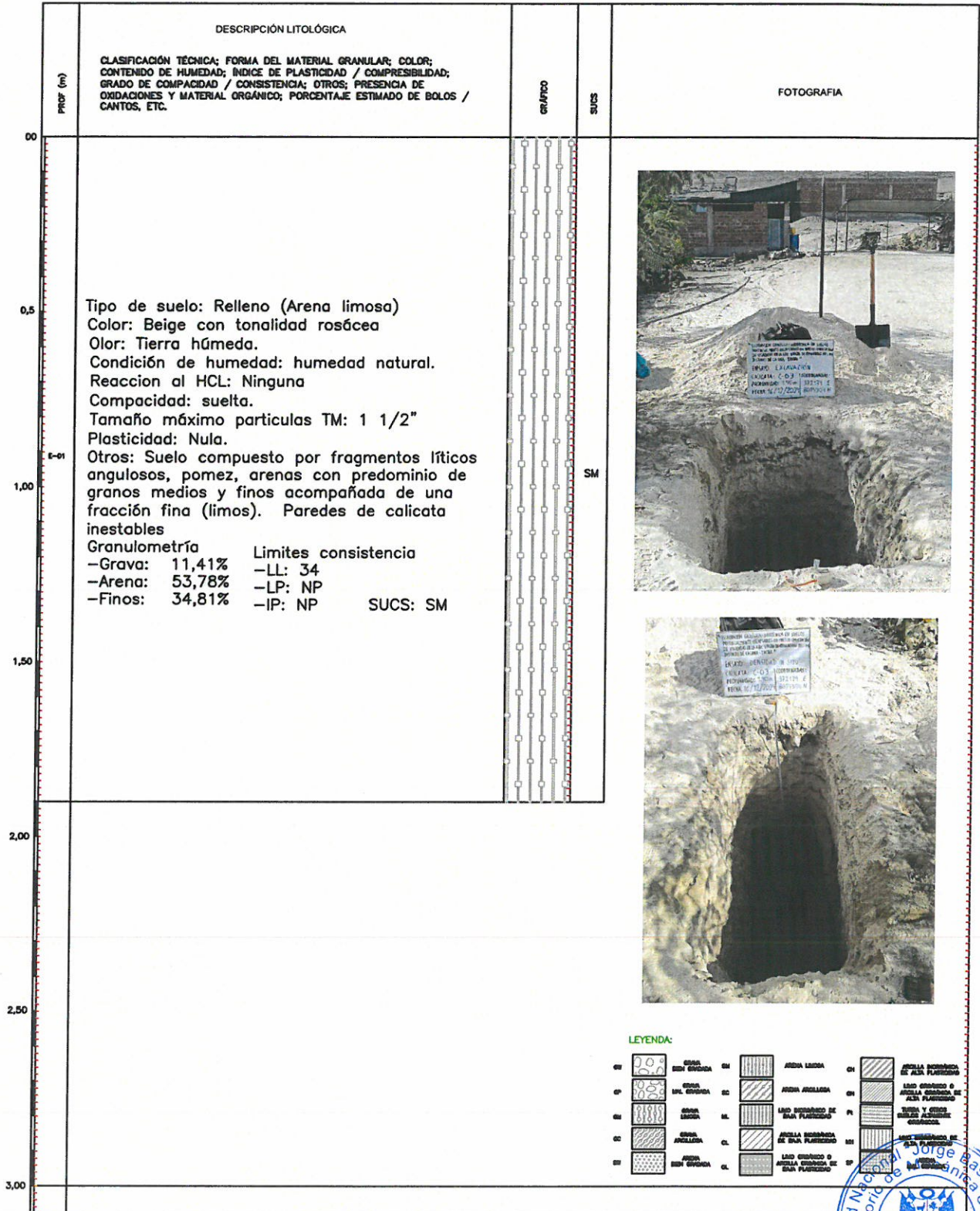




PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

CALICATA:
C-03

COORDENADAS: N: 8014304 E: 372179 Cota: 853,2 manm	DIBUJO: E.K.G.H.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,90 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 16/12/2024	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.G.H.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACION: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.G.H.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



LEYENDA:

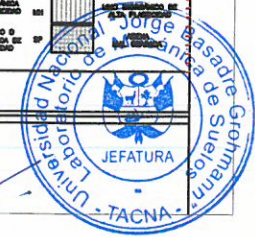
SM	SUELTO SIN GRANULOS	SM	ARENA LIMSA	SM	ARENA MEDIANA	SM	ARENA GROSERA	SM	ARENA GROSERA O ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD
SP	SUELTO SIN GRANULOS	SP	ARENA ARELLADA	SP	ARENA GROSERA	SP	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD	SP	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD
SL	SUELTO SIN GRANULOS	SL	ARENA ARELLADA	SL	ARENA GROSERA	SL	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD	SL	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD
SC	SUELTO SIN GRANULOS	SC	ARENA ARELLADA	SC	ARENA GROSERA	SC	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD	SC	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD
SE	SUELTO SIN GRANULOS	SE	ARENA ARELLADA	SE	ARENA GROSERA	SE	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD	SE	ARENA GROSERA DE ALTA PLASTICIDAD

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC:GRÁFICA

E.K.G.H.S.

REVISADO POR:

E.C.J.T.V.

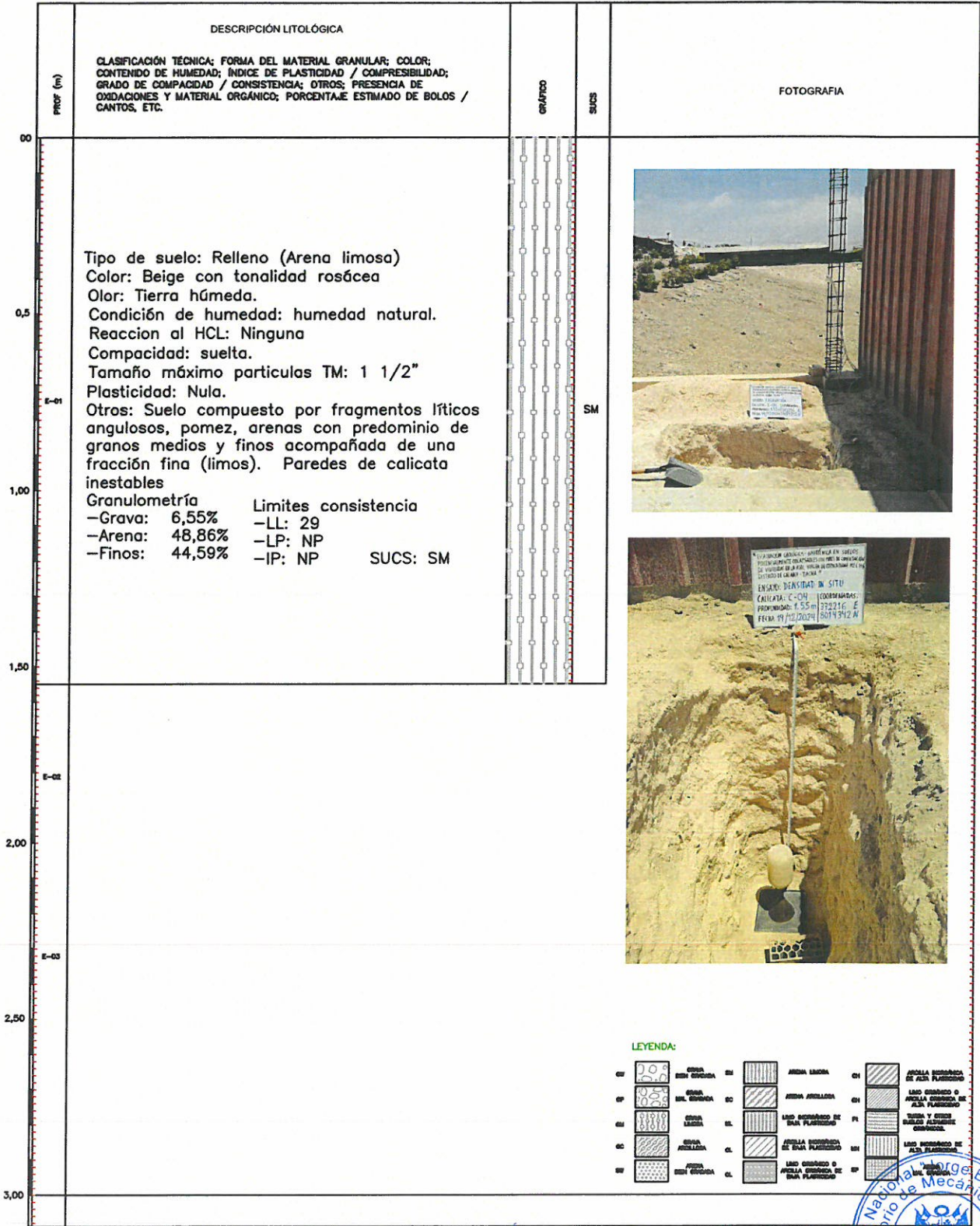




PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

CALICATA:
C-04

COORDENADAS: N: 8014342 E: 372216 Cota: 853,5 manm	DIBUJO: E.K.O.H.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,55 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 18/12/2024	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.O.H.S.	
UBICACION: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.O.H.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



LEYENDA:

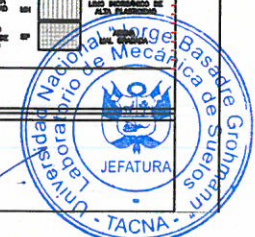
01	SUELO DEBILMENTE ARENOSO	02	ARENA LIMOSA	03	ARENA MEDIANA O ARENA GRUESA DE ALTA PLASTICIDAD
04	SUELO MEDIANAMENTE ARENOSO	05	ARENA ARENOSA	06	LEMO GRUESO O ARENA GRUESA DE ALTA PLASTICIDAD
07	SUELO MEDIANAMENTE LIMOSO	08	LEMO MEDIANO DE BAJA PLASTICIDAD	09	SUELO Y ARCILLAS MEDIANAMENTE GRUESAS
10	SUELO MEDIANAMENTE ARCILLOSO	11	ARENA MEDIANA O ARENA GRUESA DE BAJA PLASTICIDAD	12	LEMO MEDIANO DE ALTA PLASTICIDAD
13	ARENA MEDIANA O ARENA GRUESA DE BAJA PLASTICIDAD	14	LEMO GRUESO O ARENA GRUESA DE BAJA PLASTICIDAD	15	

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC: GRÁFICA

Eduardo

REVISADO POR:

[Signature]

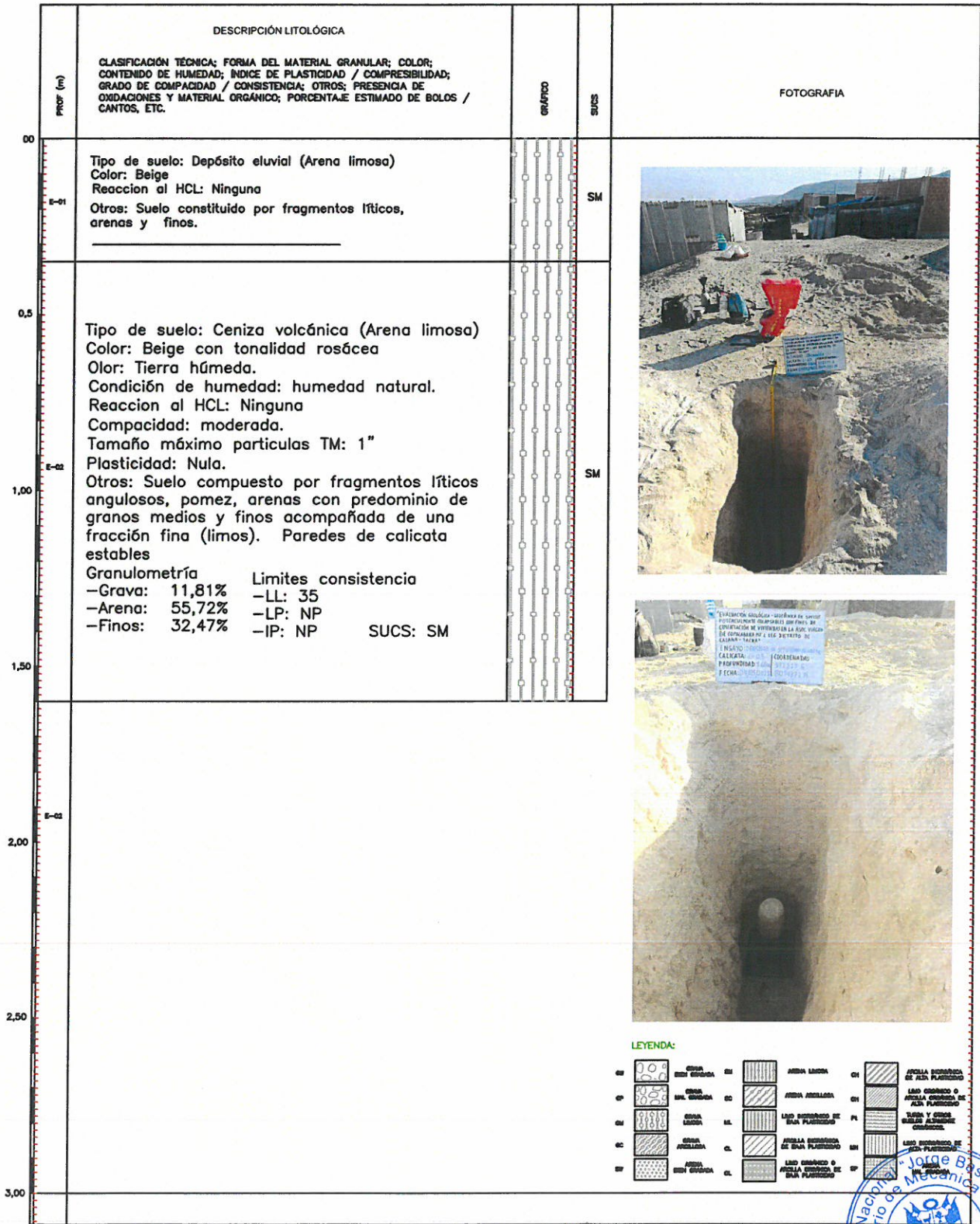




PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

**CALICATA:
C-05**

COORDENADAS: N: 8014373 E: 372211 Cota: 856,0 manm	DIBUJO: E.K.C.H.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,60 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 04/05/2025	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.C.H.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.C.H.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



LEYENDA:

01		02		03		04		05		06		07		08		09		10	
----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC: GRÁFICA

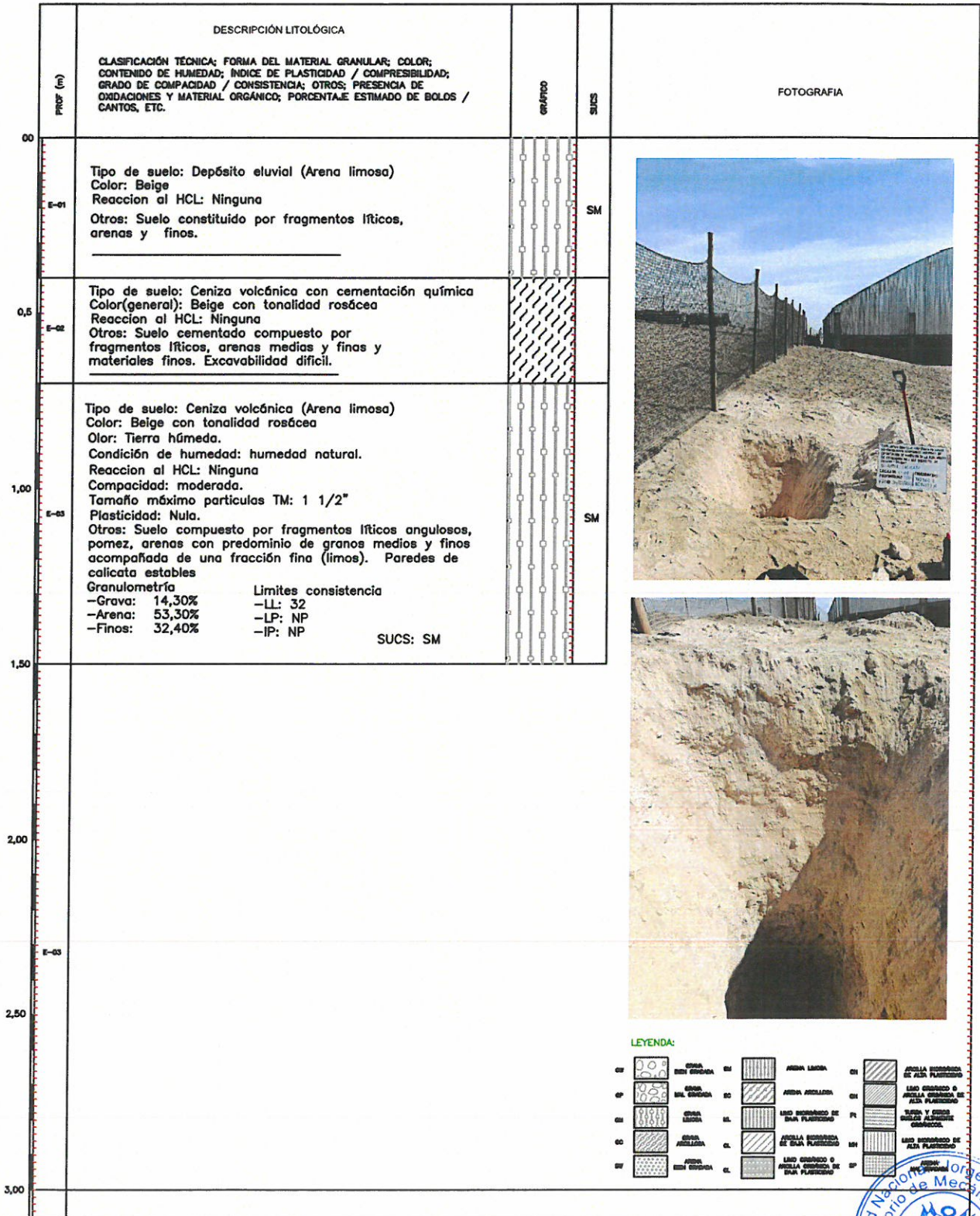
REVISADO POR:



PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

CALICATA:
C-06

COORDENADAS: N: 8014333 E: 372260 Cota: 855,5 mnm	DIBUJO: E.K.CH.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,50 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 04/05/2025	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.CH.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACION: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.CH.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.I.T.V.	



LEYENDA:

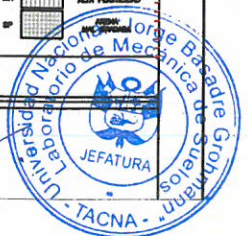
OP	CIENRA SIN CEMENTADA	EM	ARENA LIMOSA	OH	ARELLA MEDIANA DE ALTA PLASTICIDAD
OP	CIENRA SIN CEMENTADA	EO	ARENA ARELLADA	OH	ARELLA GRANDE DE ALTA PLASTICIDAD
OH	CIENRA ARELLADA	EL	LEGO MEDIANO DE BAJA PLASTICIDAD	PH	TIERRA Y CENizas DE BAJA PLASTICIDAD
OC	CIENRA ARELLADA	OL	ARELLA MEDIANA DE BAJA PLASTICIDAD	OH	LEGO MEDIANO DE ALTA PLASTICIDAD
OV	CIENRA SIN CEMENTADA	EL	LEGO GRANDE O ARELLA GRANDE DE BAJA PLASTICIDAD	OP	CIENRA SIN CEMENTADA

OBSERVACIONES:
COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
TM: TAMAÑO MÁXIMO
ESC:GRÁFICA

Edy...

REVISADO POR:

[Signature]

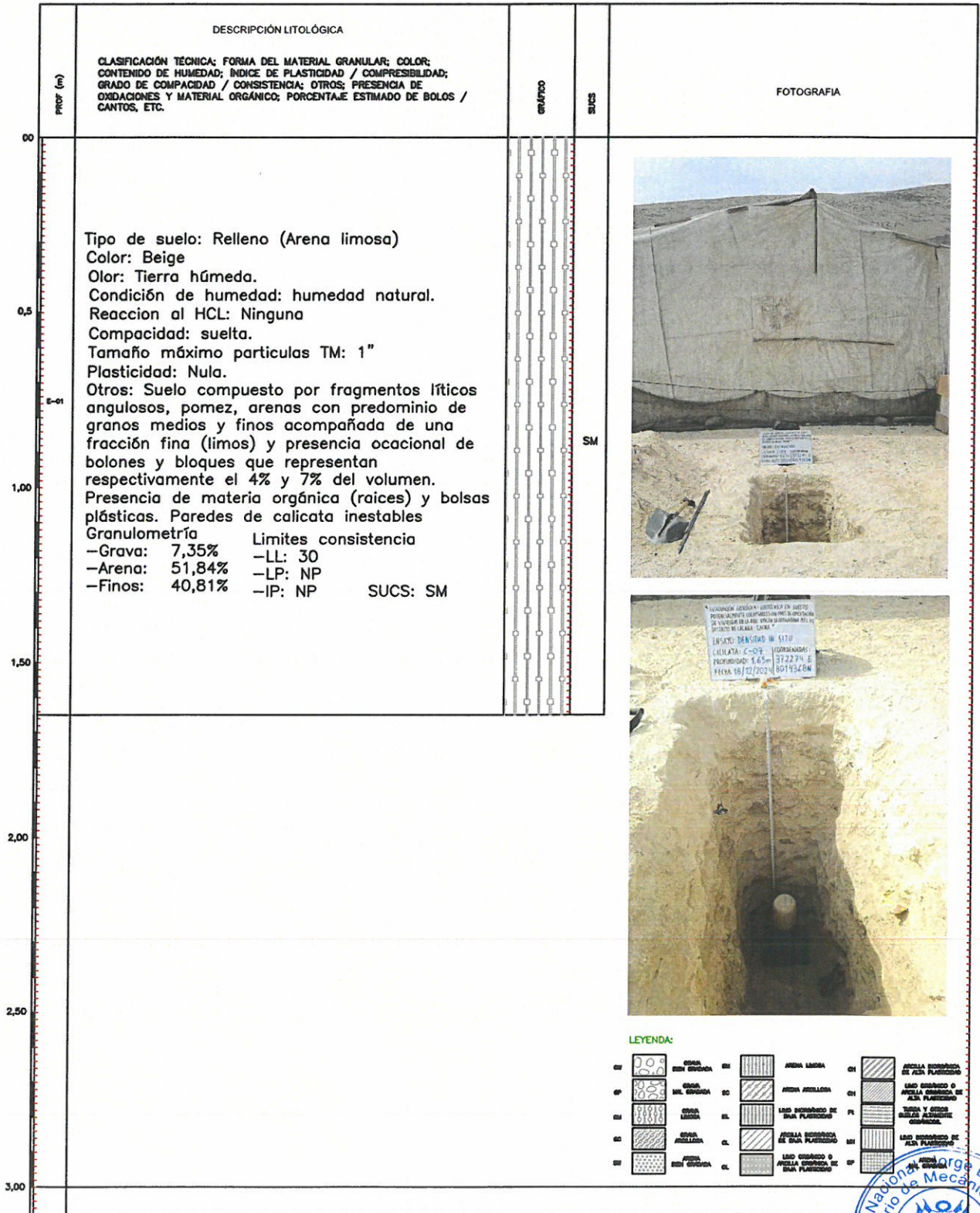




PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

**CALICATA:
C-07**

COORDENADAS: B014368 E: 372274 Cota: 856,0 manm	DIBUJO: E.K.CH.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,65 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 18/12/2024	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.CH.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACIÓN: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.CH.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



LEYENDA:

OP	arena con gravilla	SM	arena limosa	OH	arcilla endurecida de alta plasticidad
OS	arena sin gravilla	SC	arena arenosa	OH	arcilla endurecida o arcilla endurecida de alta plasticidad
OS	arena limosa	SL	limo endurecido de alta plasticidad	PH	tierra y arena endurecida de alta plasticidad
OS	arena arenosa	CL	arcilla endurecida de alta plasticidad	UH	limo endurecido de alta plasticidad
OS	arena con gravilla	CL	limo endurecido o arcilla endurecida de alta plasticidad	UH	arcilla endurecida de alta plasticidad

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC:GRÁFICA

Edyale

REVISADO POR:

[Signature]

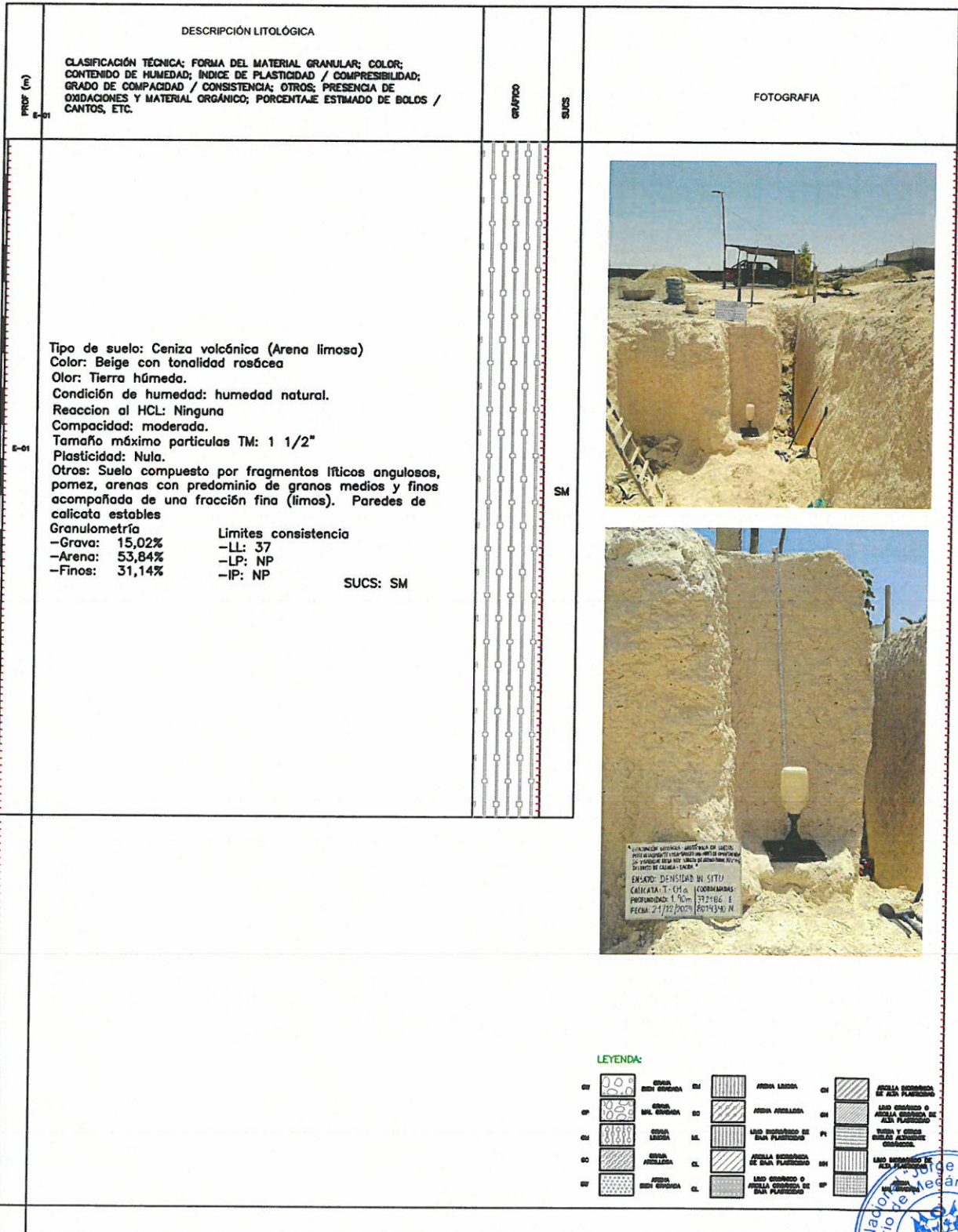




PROYECTO DE TESIS "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

**CALICATA:
T-01a**

COORDENADAS: 8014340 E: 372186 Cota: 853,5 manm	DIBUJO: E.K.C.H.S.	PROFUNDIDAD INVESTIGADA: 1,90 m
FECHA DE EXCAVACIÓN: 21/12/2024	RESPONSABLE DE EXCAVACIÓN: E.K.C.H.S.	NIVEL FREÁTICO: N.P.
UBICACION: DEPARTAMENTO DE TACNA	REGISTRADO POR: E.K.C.H.S.	
PROGRESIVA: -	REVISADO POR: E.C.J.T.V.	



EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA
 ENSAYO: DENSIDAD IN SITU
 CALICATA: T-01a (COORDENADAS: 8014340 E 372186 E)
 PROFUNDIDAD: 1,90m
 FECHA: 21/12/2024 P074340 N

LEYENDA:

OP	CEPA SUELO GRUESO	EM	ARENA LISA	OH	ARELA BARRONDA DE BAJA PLASTICIDAD
OP	CEPA SUELO GRUESO	EO	ARENA ARELLANA	OH	ARELA BARRONDA DE ALTA PLASTICIDAD
OL	CEPA LISA	EL	LIMO BARRONDO DE BAJA PLASTICIDAD	PH	ARELA Y ARELES BARRONDO ALTA PLASTICIDAD
OL	ARENA ARELLANA	EL	ARELA BARRONDA DE BAJA PLASTICIDAD	PH	LIMO BARRONDO DE BAJA PLASTICIDAD
OL	ARENA SUELO GRUESO	EL	ARELA BARRONDA DE ALTA PLASTICIDAD	PH	ARELA Y ARELES BARRONDO ALTA PLASTICIDAD

OBSERVACIONES:
 COORDENADAS AL DATUM WGS84, ZONA 19S
 TM: TAMAÑO MÁXIMO
 ESC:GRAFICA

Eduardo

REVISADO POR:

[Signature]

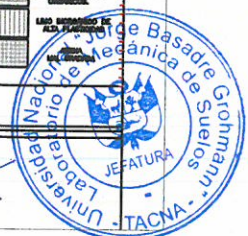


Tabla de resumen de ensayos de mecánica de suelos

Excavación	Profundidad	Contenido óptimo de humedad	Granulometria			SUCS	Límites de consistencia			Densidad in situ		Gravedad específica de los sólidos	Proctor modificado		Corte directo		Índice de colapso
			Grava	Arena	Finos		LL	LP	NP	D. húmeda	D. seca		DSM	COH	Fricción	Cohesión	
(m)	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)	(%)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(-)	(gr/cm3)	(%)	(°)	(Kg/cm2)	(-)
C-01	1.80	1.74	15.47	52.41	32.12	SM	38	NP	NP	1.250	1.232						
C-02	1.93	4.15	7.98	49.08	42.95	SM	31	NP	NP	1.212	1.164						
C-03	1.90	2.89	11.41	53.78	34.82	SM	34	NP	NP	1.208	1.167				24.23	0.080	
C-04	1.55	3.71	6.55	48.86	44.59	SM	29	NP	NP	1.170	1.128	2.446	1.508	16.44	21.37	0.068	Moderado
C-05	1.60	0.68	11.81	55.72	32.47	SM	35	NP	NP	1.270	1.250						
C-06	1.50	0.72	14.30	53.30	32.40	SM	32	NP	NP	1.327	1.307						
C-07	1.65	3.47	7.35	51.84	40.81	SM	30	NP	NP	1.234	1.175						
T-01a	1.90	0.67	15.02	53.84	31.14	SM	37	NP	NP	1.386	1.360	2.220	1.400	19.85	25.83	0.123	Leve

Ensayos de mecánica de suelos

Contenido de humedad



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372166 E/ 8014255 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-3 MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,80

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	584,3	624,5	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	573,5	614,7	
Peso del agua	(gr)	10,8	9,8	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	573,5	614,7	
Contenido de humedad	(%)	1,88	1,59	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)		1,74	

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 14/05/2025

COORDENADAS : 19K 372138 E/ 8014276 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02 NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1 MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,93

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	276,3	468,2	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	265,4	449,4	
Peso del agua	(gr)	10,9	18,8	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	265,4	449,4	
Contenido de humedad	(%)	4,11	4,18	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)		4,15	

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma: <i>Edwin</i>	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia firma: <i>Edgar</i>





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 14/05/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	576,5	473,3	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	560,1	460,2	
Peso del agua	(gr)	16,4	13,1	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	560,1	460,2	
Contenido de humedad	(%)	2,93	2,85	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)		2,89	

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Retroexcavadora

PROF. (m) : 1,55

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	766,8	594,5	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	739	573,5	
Peso del agua	(gr)	27,8	21	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	739	573,5	
Contenido de humedad	(%)	3,76	3,66	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)	3,71		

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372211 E/ 8014373 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-05 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-2 **MÉTODO EXC.** : Manual

PROF. (m) : 1,60

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	862,1	615,4	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	855,8	611,6	
Peso del agua	(gr)	6,3	3,8	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	855,8	611,6	
Contenido de humedad	(%)	0,74	0,62	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)	0,68		

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian Tisnado Valdivia firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 14/05/2025

COORDENADAS : 19K 372260 E/ 8014333 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-06 NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-3 MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,50

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	219,7	438,8	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	218,2	435,5	
Peso del agua	(gr)	1,5	3,3	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	218,2	435,5	
Contenido de humedad	(%)	0,69	0,76	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)		0,72	

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 15/05/2025

COORDENADAS : 19K 372274 E/ 8014368 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-07 NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1 MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,65

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	683,1	617,2	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	661,5	595,3	
Peso del agua	(gr)	21,6	21,9	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	661,5	595,3	
Contenido de humedad	(%)	3,27	3,68	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)	3,47		

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA NPT 339.127 (ASTM D 2216)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 15/05/2025

COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

PROF. (m) : 1,90

CONTENIDO DE HUMEDAD

Cápsula N°		1	2	
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	624	486,8	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	620,2	483,3	
Peso del agua	(gr)	3,8	3,5	
Peso de la cápsula	(gr)	0	0	
Peso del suelo seco	(gr)	620,2	483,3	
Contenido de humedad	(%)	0,61	0,72	
Contenido de humedad (RESULTADO)	(%)		0,67	

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:



Granulometría



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372166 E/ 8014255 N **TESISTA** : E. K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-3 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,80

DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 2892,60
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 447,60
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 2445,00
1"	25,000	53,20	1,84	1,84	98,16	P. fracción fino<N°4 632,9
3/4"	19,000	67,80	2,34	4,18	95,82	Porcentaje grava (%) 15,47
3/8"	9,500	121,30	4,19	8,38	91,62	Porcentaje arena (%) 52,41
N° 4	4,750	205,30	7,10	15,47	84,53	Porcentaje finos (%) 32,12
N° 10	2,000	40,00	5,34	20,82	79,18	D10
N° 20	0,850	84,10	11,23	32,05	67,95	D30
N° 40	0,425	79,30	10,59	42,64	57,36	D60 0,54
N° 60	0,250	64,30	8,59	51,23	48,77	Cc
N° 100	0,149	56,60	7,56	58,79	41,21	Cu
N° 140	0,105	40,60	5,42	64,21	35,79	
N° 200	0,075	27,50	3,67	67,88	32,12	
< 200	0,074	240,50	32,12	100,00	0,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

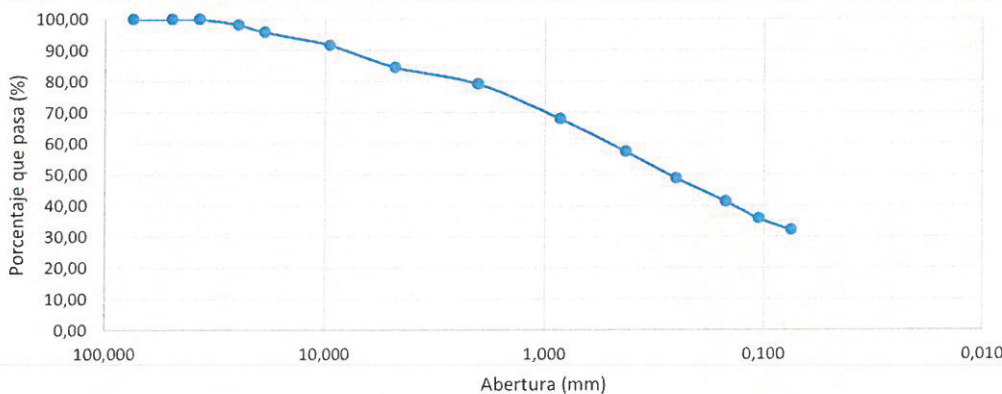
Límite Líquido	38
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD

Porcentaje de humedad (%)	1,74
---------------------------	------

CLASIFICACIÓN

SUCS	SM
------	----



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Kogay Chambi Súxo Firma: <i>[Firma]</i>	Nombre: Ing. Edgar Christian Pinedo Valdivia Firma: <i>[Firma]</i>





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 14/05/2025
COORDENADAS : 19K 372138 E/ 8014276 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,93

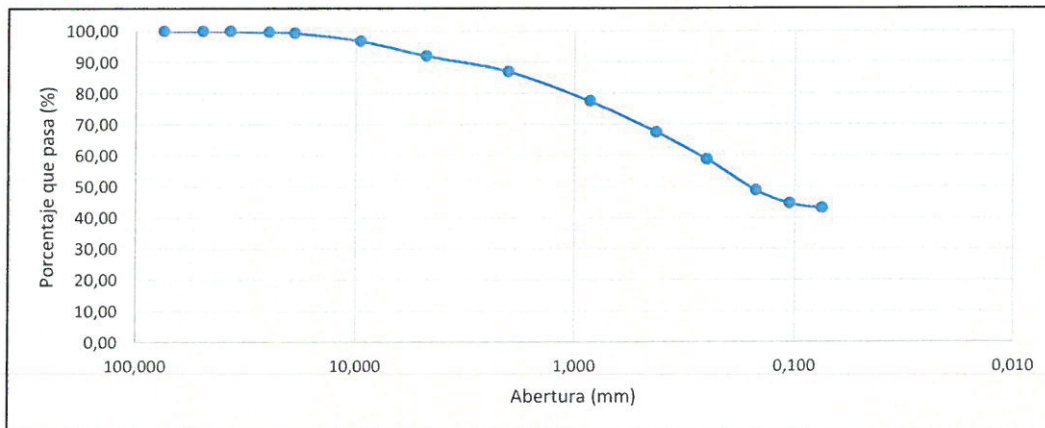
DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 4313,10
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 344,00
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 3969,10
1"	25,000	11,70	0,27	0,27	99,73	P. fracción fino<N°4 1573,6
3/4"	19,000	13,90	0,32	0,59	99,41	Porcentaje grava (%) 7,98
3/8"	9,500	113,50	2,63	3,23	96,77	Porcentaje arena (%) 49,08
N° 4	4,750	204,90	4,75	7,98	92,02	Porcentaje finos (%) 42,95
N° 10	2,000	85,70	5,01	12,99	87,01	D10
N° 20	0,850	163,50	9,56	22,55	77,45	D30
N° 40	0,425	170,00	9,94	32,49	67,51	D60 0,28
N° 60	0,250	150,10	8,78	41,27	58,73	Cc
N° 100	0,149	169,90	9,94	51,20	48,80	Cu
N° 140	0,105	73,00	4,27	55,47	44,53	
N° 200	0,075	27,00	1,58	57,05	42,95	
< 200	0,074	734,40	42,95	100,00	0,00	

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Porcentaje de humedad (%)	4,15

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM

LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido	31
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP



Observaciones: _____

Realizado por Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia Firma:
---	---





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 15/05/2025
COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,90

DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 5034,50
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 574,30
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 4460,20
1"	25,000	71,00	1,41	1,41	98,59	P. fracción fino<N°4 1160,1
3/4"	19,000	71,90	1,43	2,84	97,16	Porcentaje grava (%) 11,41
3/8"	9,500	182,00	3,62	6,45	93,55	Porcentaje arena (%) 53,78
N° 4	4,750	249,40	4,95	11,41	88,59	Porcentaje finos (%) 34,82
N° 10	2,000	66,20	5,06	16,46	83,54	D10
N° 20	0,850	150,40	11,49	27,95	72,05	D30
N° 40	0,425	149,10	11,39	39,33	60,67	D60 0,41
N° 60	0,250	126,60	9,67	49,00	51,00	Cc
N° 100	0,149	109,90	8,39	57,40	42,60	Cu
N° 140	0,105	63,10	4,82	62,21	37,79	
N° 200	0,075	38,90	2,97	65,18	34,82	
< 200	0,074	455,90	34,82	100,00	0,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

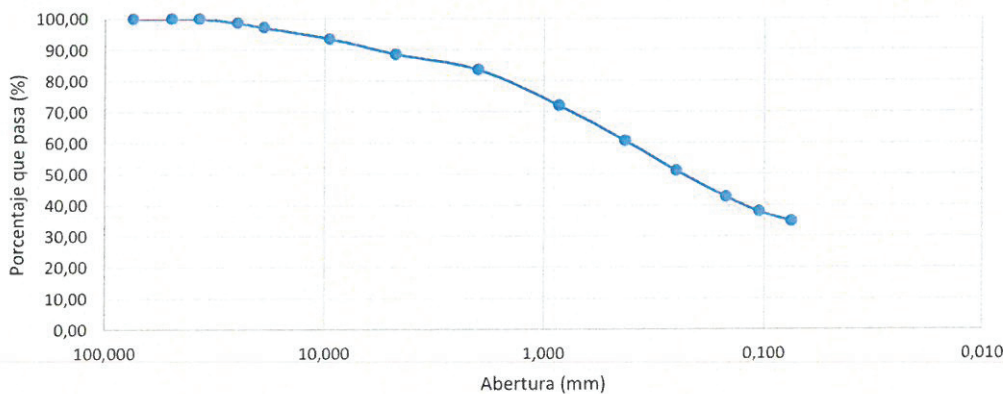
Límite Líquido	34
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD

Porcentaje de humedad (%)	2,89
---------------------------	------

CLASIFICACIÓN

SUCS	SM
------	----



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,55

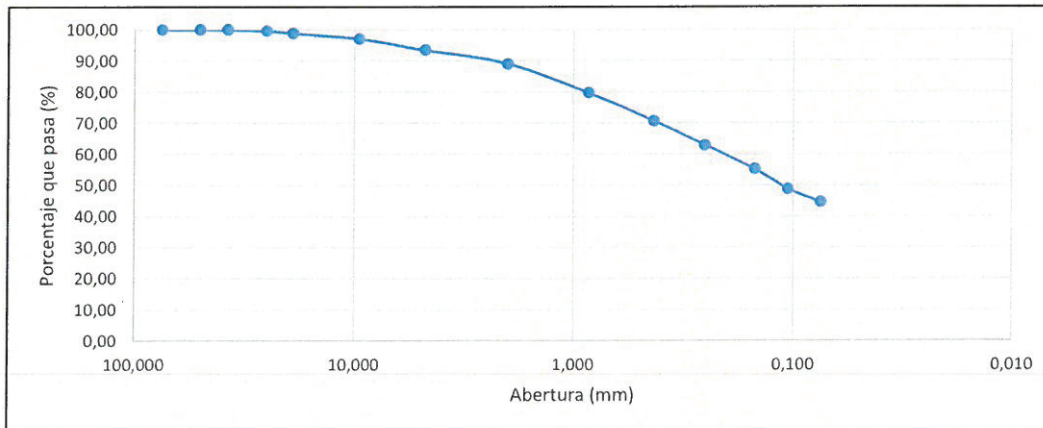
DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 5552,80
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 363,50
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 5189,30
1"	25,000	25,10	0,45	0,45	99,55	P. fracción fino < N°4 1175,8
3/4"	19,000	37,20	0,67	1,12	98,88	Porcentaje grava (%) 6,55
3/8"	9,500	101,10	1,82	2,94	97,06	Porcentaje arena (%) 48,86
N° 4	4,750	200,10	3,60	6,55	93,45	Porcentaje finos (%) 44,59
N° 10	2,000	55,60	4,42	10,97	89,03	D10
N° 20	0,850	117,20	9,32	20,28	79,72	D30
N° 40	0,425	114,30	9,08	29,37	70,63	D60 0,21
N° 60	0,250	97,50	7,75	37,11	62,89	Cc
N° 100	0,149	97,20	7,73	44,84	55,16	Cu
N° 140	0,105	80,70	6,41	51,25	48,75	
N° 200	0,075	52,30	4,16	55,41	44,59	
< 200	0,074	561,00	44,59	100,00	0,00	

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Porcentaje de humedad (%)	3,71

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM

LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido	29
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP



Observaciones: _____

Realizado por Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian Orisnado Valdivia Firma:
--	--





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372211 E/ 8014373 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-05 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-2 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,60

DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 4036,70
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 476,60
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 3560,10
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00	P. fracción fino<N°4 1101,4
3/4"	19,000	46,10	1,14	1,14	98,86	Porcentaje grava (%) 11,81
3/8"	9,500	157,00	3,89	5,03	94,97	Porcentaje arena (%) 55,72
N° 4	4,750	273,50	6,78	11,81	88,19	Porcentaje finos (%) 32,47
N° 10	2,000	61,30	4,91	16,72	83,28	D10
N° 20	0,850	146,90	11,76	28,48	71,52	D30
N° 40	0,425	143,50	11,49	39,97	60,03	D60 0,42
N° 60	0,250	118,80	9,51	49,48	50,52	Cc
N° 100	0,149	106,20	8,50	57,99	42,01	Cu
N° 140	0,105	73,30	5,87	63,85	36,15	
N° 200	0,075	45,90	3,68	67,53	32,47	
< 200	0,074	405,50	32,47	100,00	0,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

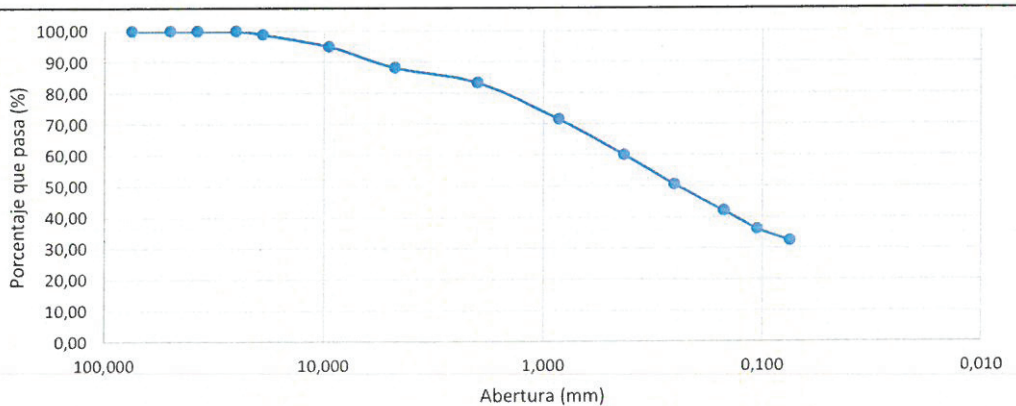
Límite Líquido	35
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD

Porcentaje de humedad (%)	0,68
---------------------------	------

CLASIFICACIÓN

SUCS	SM
------	----



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma: <i>Edwin Koday Chambi Suxo</i>	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma: <i>Edgar Christian J. Tisnado Valdivia</i>





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 15/05/2025
COORDENADAS : 19K 372260 E/ 8014333 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-06 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-3 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,50

DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 3041,60
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 434,90
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 2606,70
1"	25,000	43,40	1,43	1,43	98,57	P. fracción fino < N°4 1297,2
3/4"	19,000	36,40	1,20	2,62	97,38	Porcentaje grava (%) 14,30
3/8"	9,500	148,70	4,89	7,51	92,49	Porcentaje arena (%) 53,30
N° 4	4,750	206,40	6,79	14,30	85,70	Porcentaje finos (%) 32,40
N° 10	2,000	82,40	5,44	19,74	80,26	D10
N° 20	0,850	171,20	11,31	31,05	68,95	D30
N° 40	0,425	169,10	11,17	42,22	57,78	D60 0,52
N° 60	0,250	137,90	9,11	51,34	48,66	Cc
N° 100	0,149	131,00	8,65	59,99	40,01	Cu
N° 140	0,105	71,50	4,72	64,71	35,29	
N° 200	0,075	43,70	2,89	67,60	32,40	
< 200	0,074	490,40	32,40	100,00	0,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

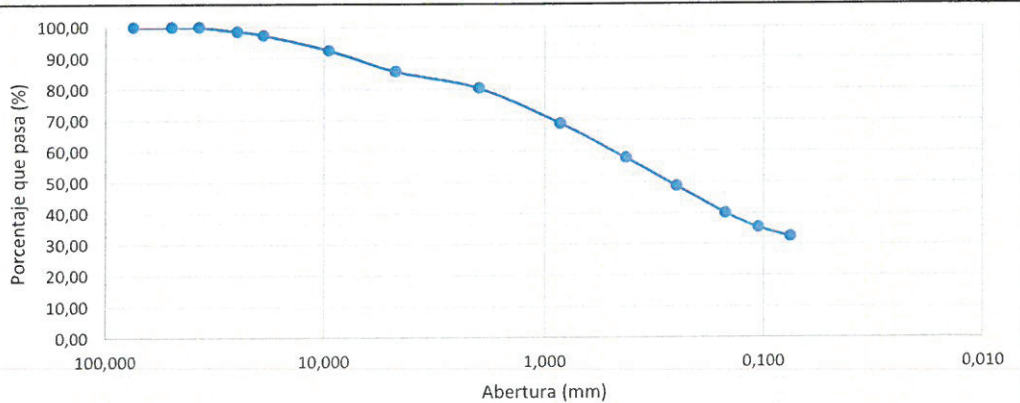
Límite Líquido	32
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD

Porcentaje de humedad (%)	0,72
---------------------------	------

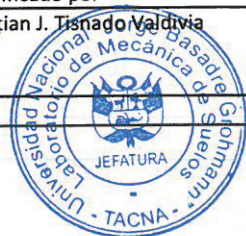
CLASIFICACIÓN

SUCS	SM
------	----



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma: <i>Edwin</i>	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma: <i>Edgar</i>





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372274 E/ 8014368 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-07 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,65

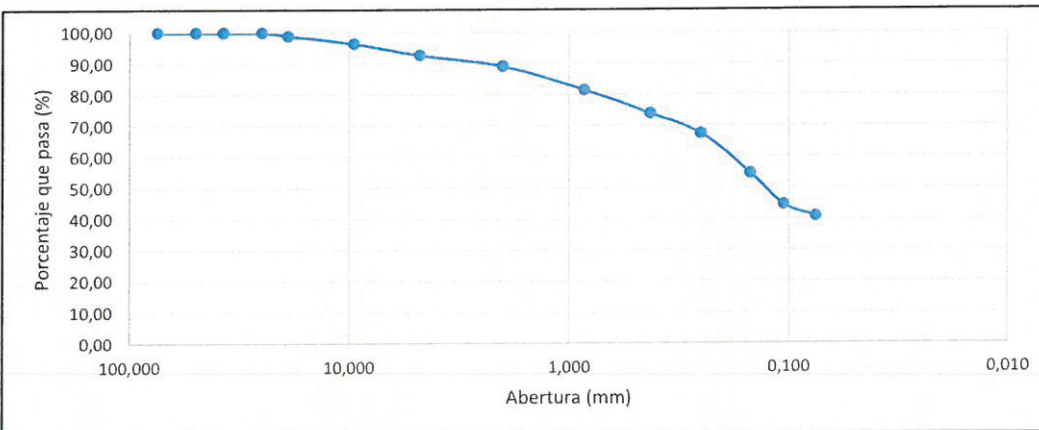
DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 5889,80
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 433,00
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 5456,80
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00	P. fracción fino<N°4 1235,1
3/4"	19,000	60,90	1,03	1,03	98,97	Porcentaje grava (%) 7,35
3/8"	9,500	152,10	2,58	3,62	96,38	Porcentaje arena (%) 51,84
N° 4	4,750	220,00	3,74	7,35	92,65	Porcentaje finos (%) 40,81
N° 10	2,000	47,00	3,53	10,88	89,12	D10
N° 20	0,850	101,40	7,61	18,48	81,52	D30
N° 40	0,425	100,70	7,55	26,04	73,96	D60 0,19
N° 60	0,250	87,50	6,56	32,60	67,40	Cc
N° 100	0,149	169,40	12,71	45,31	54,69	Cu
N° 140	0,105	135,30	10,15	55,46	44,54	
N° 200	0,075	49,80	3,74	59,19	40,81	
< 200	0,074	544,00	40,81	100,00	0,00	

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Porcentaje de humedad (%)	3,47

CLASIFICACIÓN	
SUCS	SM

LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido	30
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
NORMA NTP 339.128 (ASTM D 422)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 15/05/2025
COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,90

DATOS DEL ENSAYO

TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra inicial 5280,70
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra grava 793,20
1 1/2"	37,500	0,00	0,00	0,00	100,00	Peso muestra arena 4487,50
1"	25,000	162,70	3,08	3,08	96,92	P. fracción fino<N°4 1076,5
3/4"	19,000	133,90	2,54	5,62	94,38	Porcentaje grava (%) 15,02
3/8"	9,500	199,90	3,79	9,40	90,60	Porcentaje arena (%) 53,84
N° 4	4,750	296,70	5,62	15,02	84,98	Porcentaje finos (%) 31,14
N° 10	2,000	60,20	4,75	19,77	80,23	D10
N° 20	0,850	146,40	11,56	31,33	68,67	D30
N° 40	0,425	140,60	11,10	42,43	57,57	D60 0,52
N° 60	0,250	116,40	9,19	51,62	48,38	Cc
N° 100	0,149	102,80	8,12	59,73	40,27	Cu
N° 140	0,105	76,50	6,04	65,77	34,23	
N° 200	0,075	39,10	3,09	68,86	31,14	
< 200	0,074	394,50	31,14	100,00	0,00	

LÍMITES DE ATTERBERG

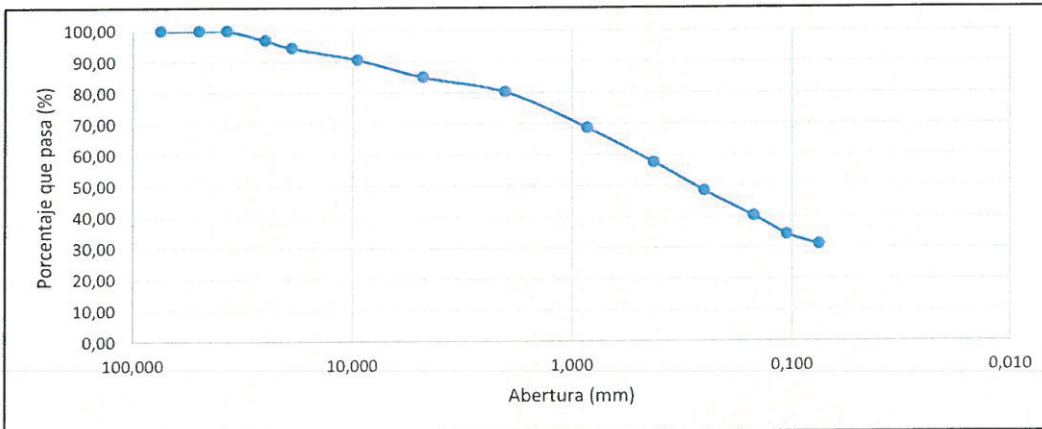
Límite Líquido	37
Límite Plástico	NP
Índice de Plasticidad	NP

CONTENIDO DE HUMEDAD

Porcentaje de humedad (%)	0,67
---------------------------	------

CLASIFICACIÓN

SUCS	SM
------	----



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma: <i>[Firma]</i>	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma: <i>[Firma]</i>



Límites de consistencia



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 19/05/2025

COORDENADAS : 19K 372166 E/ 8014255 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-3

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,80

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		30	26	16
Cápsula N°	(N°)	1	2	3
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	19,22	16,83	22,29
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	16,94	15,26	19,11
Peso del agua	(gr)	2,28	1,57	3,18
Peso de la cápsula	(gr)	10,87	11,15	10,91
Peso del suelo seco	(gr)	6,07	4,11	8,2
Contenido de humedad	(%)	37,56	38,20	38,78

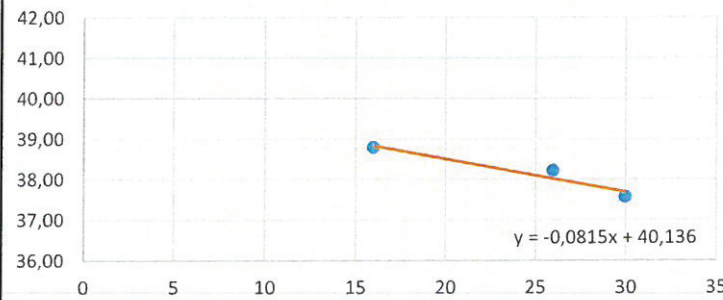
DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

RESULTADO

LL	38
LP	NP
IP	NP

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



Observaciones: _____

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Lisnado Valdivia

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 15/05/2025

COORDENADAS : 19K 372138 E/ 8014276 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,93

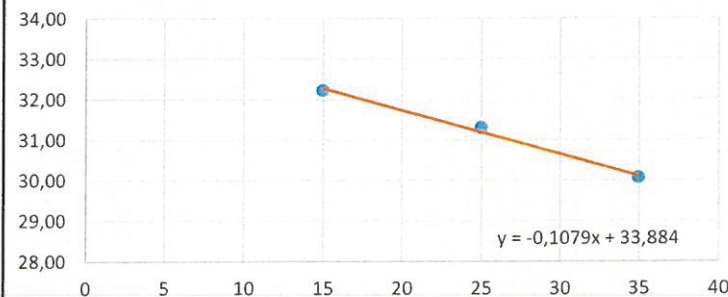
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		35	25	15
Cápsula N°	(N°)	3	2	1
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	15,95	19,27	18,22
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	14,79	17,27	16,5
Peso del agua	(gr)	1,16	2	1,72
Peso de la cápsula	(gr)	10,93	10,88	11,16
Peso del suelo seco	(gr)	3,86	6,39	5,34
Contenido de humedad	(%)	30,05	31,30	32,21

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADO

LL	31
LP	NP
IP	NP

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 15/05/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

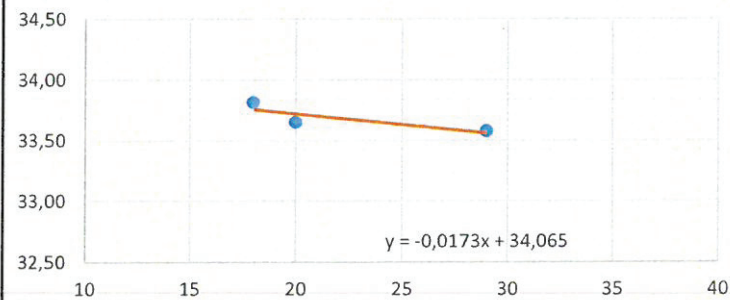
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		29	20	18
Cápsula N°	(N°)	3	2	1
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	23,8	21,04	25,83
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	20,56	18,55	22,05
Peso del agua	(gr)	3,24	2,49	3,78
Peso de la cápsula	(gr)	10,91	11,15	10,87
Peso del suelo seco	(gr)	9,65	7,4	11,18
Contenido de humedad	(%)	33,58	33,65	33,81

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADO

LL	34
LP	NP
IP	NP

Observaciones:

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 19/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,55

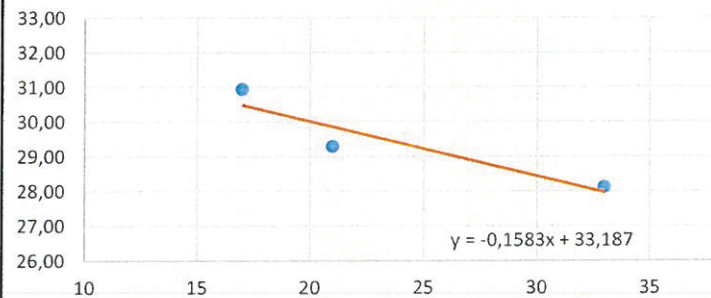
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		33	21	17
Cápsula N°	(N°)	1	3	2
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	19,94	17,93	19,87
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	17,95	16,34	17,81
Peso del agua	(gr)	1,99	1,59	2,06
Peso de la cápsula	(gr)	10,87	10,91	11,15
Peso del suelo seco	(gr)	7,08	5,43	6,66
Contenido de humedad	(%)	28,11	29,28	30,93

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADO

LL	29
LP	NP
IP	NP

Observaciones:

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tispado Valdivia

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 20/05/2025

COORDENADAS : 19K 372211 E/ 8014373 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-05

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-2

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,60

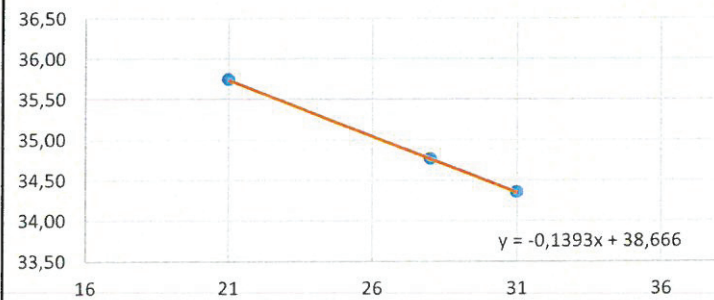
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		31	28	21
Cápsula N°	(N°)	1	2	3
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	19,7	19,64	17,82
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	17,45	17,45	15,99
Peso del agua	(gr)	2,25	2,19	1,83
Peso de la cápsula	(gr)	10,9	11,15	10,87
Peso del suelo seco	(gr)	6,55	6,3	5,12
Contenido de humedad	(%)	34,35	34,76	35,74

DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADO

LL	35
LP	NP
IP	NP

Observaciones: _____

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372260 E/ 8014333 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-06

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-3

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,50

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		30	20	15
Cápsula N°	(N°)	2	3	1
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	16,7	19,7	16,6
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	15,38	17,57	15,2
Peso del agua	(gr)	1,32	2,13	1,4
Peso de la cápsula	(gr)	11,15	10,91	10,87
Peso del suelo seco	(gr)	4,23	6,66	4,33
Contenido de humedad	(%)	31,21	31,98	32,33

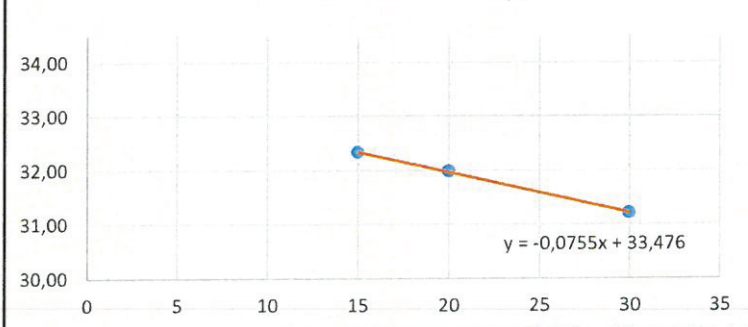
DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

RESULTADO

LL	32
LP	NP
IP	NP

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 22/05/2025

COORDENADAS : 19K 372274 E/ 8014368 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-07

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,65

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		35	23	15
Cápsula N°	(N°)	3	2	1
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	17,7	19,7	24,54
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	16,18	17,71	21,24
Peso del agua	(gr)	1,52	1,99	3,3
Peso de la cápsula	(gr)	10,91	11,15	10,87
Peso del suelo seco	(gr)	5,27	6,56	10,37
Contenido de humedad	(%)	28,84	30,34	31,82

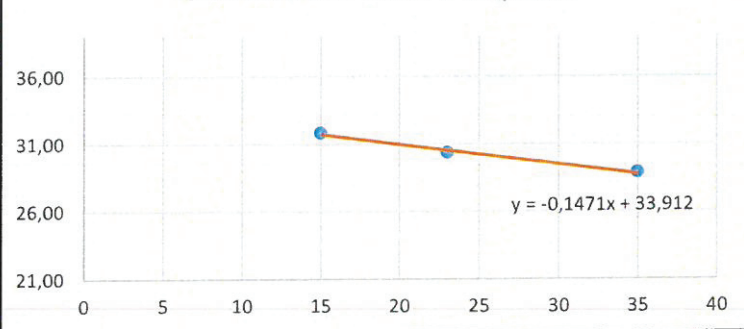
DETERMINACIÓN DE LÍMITE PLÁSTICO

Cápsula N°	(N°)	490		
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP		
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP		
Peso del agua	(gr)	-		
Peso de la cápsula	(gr)	-		
Peso del suelo seco	(gr)	-		
Contenido de humedad	(%)	NP		

RESULTADO

LL	30
LP	NP
IP	NP

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



Observaciones: _____

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

NORMA NTP 339.129 (ASTM D 4318)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

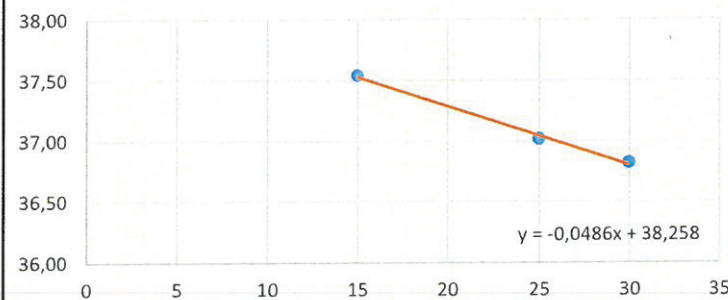
DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Número de golpes		30	25	15
Cápsula N°	(N°)	3	1	2
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	20,48	19,7	20
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	17,91	17,32	17,59
Peso del agua	(gr)	2,57	2,38	2,41
Peso de la cápsula	(gr)	10,93	10,89	11,17
Peso del suelo seco	(gr)	6,98	6,43	6,42
Contenido de humedad	(%)	36,82	37,01	37,54

DETERMINACIÓN DE LÍMITE LÍQUIDO

Cápsula N°	(N°)	490	422	410
Peso cápsula - suelo húmedo	(gr)	NP	NP	
Peso cápsula - suelo seco	(gr)	NP	NP	
Peso del agua	(gr)	-	-	
Peso de la cápsula	(gr)	-	-	
Peso del suelo seco	(gr)	-	-	
Contenido de humedad	(%)	NP	NP	

GRÁFICO DEL LÍMITE LÍQUIDO



RESULTADO

LL	37
LP	NP
IP	NP

Observaciones: _____

Realizado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo
Firma:

Verificado por
Nombre: Ing. Edgar Christian J. Coronado Valdivia
Firma:



Densidad in situ



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 03/05/2025

COORDENADAS : 19K 372166 E/ 8014255 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-01

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-3

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,80

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6845
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	3235
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	3610
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	1929
Volumen del hoyo	(cm ³)	1340,51
Peso del material extraido + tara	(gr)	1675
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	1675
Peso del material extraido seco	(gr)	1650,90
Humedad del suelo	(%)	1,46

DESCRIPCIÓN

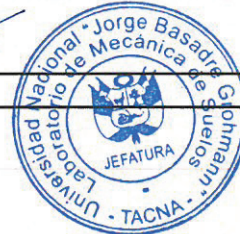
Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,250
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,232

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON
FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6,
DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 17/12/2024

COORDENADAS : 19K 372138 E/ 8014276 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-02

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,93

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6760
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	2852
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	3908
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2227
Volumen del hoyo	(cm ³)	1547,6
Peso del material extraido + tara	(gr)	1875
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	1875
Peso del material extraido seco	(gr)	1800,98
Humedad del suelo	(%)	4,11

DESCRIPCIÓN

Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,212
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,164

Observaciones: _____

Realizado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

firma:



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU**

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON
FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6,
DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 16/12/2024

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6860
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	3255
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	3605
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	1924
Volumen del hoyo	(cm ³)	1337,04
Peso del material extraido + tara	(gr)	1615
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	1615
Peso del material extraido seco	(gr)	1560,24
Humedad del suelo	(%)	3,51

DESCRIPCIÓN

Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,208
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,167

Observaciones: _____

_____**Realizado por**

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo

Firma:

Verificado por

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 19/12/2024

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,55

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6680
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	2600
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	4080
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2399
Volumen del hoyo	(cm ³)	1667,13
Peso del material extraido + tara	(gr)	1950
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	1950
Peso del material extraido seco	(gr)	1879,70
Humedad del suelo	(%)	3,74

DESCRIPCIÓN

Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,170
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,128

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 04/05/2025

COORDENADAS : 19K 372211 E/ 8014373 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-05

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-2

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,60

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6920
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	2360
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	4560
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2879
Volumen del hoyo	(cm ³)	2000,69
Peso del material extraido + tara	(gr)	2540
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	2540
Peso del material extraido seco	(gr)	2501,23
Humedad del suelo	(%)	1,55

DESCRIPCIÓN

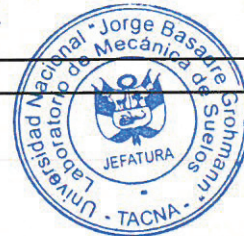
Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,270
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,250

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Sucho	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 04/05/2025
COORDENADAS : 19K 372260 E/ 8014333 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-06 NIVEL FREÁTICO : No presenta
MUESTRA : E-3 MÉTODO EXC. : Manual
PROF. (m) : 1,50

DATOS DEL ENSAYO			DESCRIPCIÓN	
Peso del frasco + arena	(gr)	7060	Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	3010	Peso de la arena en cono (gr)	1681
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	4050		
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2369		
Volumen del hoyo	(cm ³)	1646,28		
Peso del material extraido + tara	(gr)	2185		
Peso de la Tara	(gr)	0		
Peso del material extraido húmedo	(gr)	2185		
Peso del material extraido seco	(gr)	2151,86		
Humedad del suelo	(%)	1,54		
RESULTADOS				
Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,327		
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,307		

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambj Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON
FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6,
DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 18/12/2024

COORDENADAS : 19K 372274 E/ 8014368 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-07

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,65

DATOS DEL ENSAYO

Peso del frasco + arena	(gr)	6745
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	2445
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	4300
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2619
Volumen del hoyo	(cm ³)	1820,01
Peso del material extraido + tara	(gr)	2245
Peso de la Tara	(gr)	0
Peso del material extraido húmedo	(gr)	2245
Peso del material extraido seco	(gr)	2137,69
Humedad del suelo	(%)	5,02

DESCRIPCIÓN

Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso de la arena en cono (gr)	1681

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,234
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,175

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE DENSIDAD IN SITU

NORMA NTP 339.143 (ASTM D 1556)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA
COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N
FECHA : 21/12/2024
TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a
MUESTRA : E-1
PROF. (m) : 1,90
NIVEL FREÁTICO : No presenta
MÉTODO EXC. : Manual

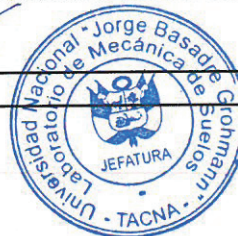
DATOS DEL ENSAYO			DESCRIPCIÓN	
Peso del frasco + arena	(gr)	7240	Densidad de la arena (gr/cm ³)	1,44
Peso del frasco + arena que queda	(gr)	3420	Peso de la arena en cono (gr)	1681
Peso de la arena que entró en el hoyo y cono	(gr)	3820		
Peso de la arena que entro en el hoyo	(gr)	2139		
Volumen del hoyo	(cm ³)	1486,45		
Peso del material extraido + tara	(gr)	2060		
Peso de la Tara	(gr)	0		
Peso del material extraido húmedo	(gr)	2060		
Peso del material extraido seco	(gr)	2022,19		
Humedad del suelo	(%)	1,87		

RESULTADOS

Densidad natural húmeda en campo	(gr/cm ³)	1,386
Densidad natural seca en campo	(gr/cm ³)	1,360

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia firma:



Gravedad específica de los sólidos

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS**

NORMA NTP 339.131 (ASTM D 854)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 21/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Retroexcavadora

PROF. (m) : 1,55

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

Vol. Fiola a 20°C	(ml)	500,00	500	
Peso fiola + agua + suelo	(gr)	722,80	695,30	
Temperatura	(°C)	23	23	
Peso fiola + agua	(gr)	676,43	646,39	
Peso Tara	(gr)	177,20	190,70	
Peso Tara + suelo seco	(gr)	255,50	273,60	
Peso suelo seco	(gr)	78,30	82,90	
Gravedad específica	(-)	2,452	2,439	

(*) SSS: Saturado Superficialmente Seco / Saturado con superficie Seca

Observaciones:

Realizado por

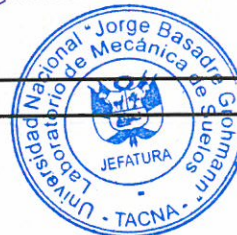
Verificado por

Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo

Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia

Firma:

Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

NORMA NTP 339.131 (ASTM D 854)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 21/05/2025

COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Retroexcavadora

PROF. (m) : 1,90

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

Vol. Fiola a 20°C	(ml)	500,00	500	
Peso fiola + agua + suelo	(gr)	691,00	721,20	
Temperatura	(°C)	22	22	
Peso fiola + agua	(gr)	646,53	676,57	
Peso Tara	(gr)	183,40	384,80	
Peso Tara + suelo seco	(gr)	263,40	467,00	
Peso suelo seco	(gr)	80,00	82,20	
Gravedad específica	(-)	2,252	2,188	

(*) SSS: Saturado Superficialmente Seco / Saturado con superficie Seca

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:



Corte directo



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 NIVEL FREÁTICO : No presenta
MUESTRA : E-1 MÉTODO EXC. : Manual
PROF. (m) : 1,55

DESCRIPCIÓN DEL SUELO

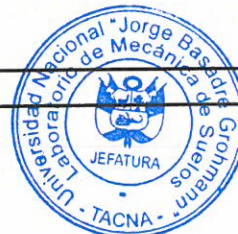
Clasificación SUCS	(-)	SM	Límite líquido	(%)	29
Condición	(-)	Remoldeado	Índice Plástico	(%)	NP

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPÉCIMENES DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN		0,56 Kg/cm ²	1,11 Kg/cm ²	2,22 Kg/cm ²
Lado	(cm)	6	6	6
Área	(cm ²)	36	36	36
Altura Inicial	(cm)	2,5	2,5	2,5
Altura Final	(cm)	2,35	2,32	2,30
Volumen Inicial	(cm ³)	90	90	90
Volumen Final	(cm ³)	84,6	83,52	82,8
Peso Húmedo Inicial	(gr)	105,3	105,3	105,3
Peso Húmedo Final	(gr)	136,4	134,7	132,5
Peso Seco	(gr)	101,52	101,52	101,52
Humedad Inicial	(%)	3,72	3,72	3,72
Humedad Final	(%)	34,36	32,68	30,52
Densidad Húmeda Inicial	(gr/cm ³)	1,170	1,170	1,170
Densidad Húmeda Final	(gr/cm ³)	1,612	1,613	1,600
Densidad Seca Inicial	(gr/cm ³)	1,128	1,128	1,128
Densidad Seca final	(gr/cm ³)	1,200	1,216	1,226

Observaciones:

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS
 NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,55

ESFUERZO NORMAL: 0,56 kg/cm ²		INICIAL	FINAL
Altura	(cm)	2,5	2,35
Volumen	(cm ³)	90	84,6
Humedad	(%)	3,72	34,36
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,128	1,200
Esfuerzo corte	(kgf/cm ³)	0,28	

Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)	Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
0	0,00	0,000	92,75	1,388	0,269
19,25	0,05	0,055	93,15	1,425	0,270
25,47	0,08	0,072	95,31	1,542	0,277
34,25	0,12	0,097	95,42	1,625	0,278
40,54	0,18	0,115	94,25	1,744	0,275
44,16	0,23	0,126	94,15	1,824	0,275
52,36	0,375	0,149	93,2	1,92	0,273
55,34	0,433	0,158	88,35	2,054	0,259
60,25	0,504	0,172	87,15	2,21	0,256
65,28	0,584	0,187	86,45	2,24	0,254
70,81	0,628	0,203			
72,28	0,694	0,207			
75,16	0,742	0,216			
85,72	0,854	0,246			
88,15	0,944	0,254			
90,667	1,105	0,262			
91,45	1,241	0,265			
92,26	1,294	0,267			

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N
FECHA : 16/05/2025
TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04
MUESTRA : E-1
PROF. (m) : 1,55
NIVEL FREÁTICO : No presenta
MÉTODO EXC. : Manual

ESFUERZO NORMAL: 1,11 kg/cm ²		INICIAL	FINAL
Altura	(cm)	2,5	2,32
Volumen	(cm ³)	90	83,52
Humedad	(%)	3,72	32,68
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,128	1,216
Esfuerzo corte	(kgf/cm ³)	0,51	

Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)	Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
0	0,00	0,000	155,82	1,327	0,451
25	0,07	0,071	160,67	1,405	0,466
38	0,09	0,108	165,25	1,537	0,481
59,4	0,11	0,169	169,07	1,654	0,493
74,4	0,19	0,211	174,12	1,72	0,508
85,4	0,21	0,243	176,15	1,811	0,515
93,5	0,39	0,267	175,26	1,935	0,513
97,14	0,45	0,277	172,05	2,154	0,506
103,76	0,524	0,297	170,31	2,196	0,501
107,79	0,602	0,309	168,31	2,25	0,495
115,28	0,652	0,330			
120,14	0,705	0,344			
124,67	0,815	0,358			
130,37	0,864	0,375			
137,34	0,922	0,395			
140,28	1,024	0,404			
145,11	1,121	0,419			
148,91	1,245	0,431			

Observaciones: _____

Realizado por: Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:
---	--





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N
FECHA : 16/05/2025
TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 NIVEL FREÁTICO : No presenta
MUESTRA : E-1 MÉTODO EXC. : Manual
PROF. (m) : 1,55

ESFUERZO NORMAL: 2,22 kg/cm ²		INICIAL	FINAL
Altura	(cm)	2,5	2,30
Volumen	(cm ³)	90	82,80
Humedad	(%)	3,72	30,52
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,128	1,226
Esfuerzo corte	(kgf/cm ³)	0,93	

Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)	Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
0	0,00	0,000	285,36	1,303	0,826
34	0,04	0,096	290,54	1,41	0,843
55,8	0,06	0,158	300,15	1,523	0,873
110,5	0,1	0,314	305,77	1,612	0,890
137,3	0,15	0,390	311,04	1,712	0,907
166,7	0,19	0,474	314,64	1,88	0,920
180,1	0,324	0,513	316,16	1,96	0,926
195,7	0,394	0,558	318,32	2,05	0,934
205,2	0,482	0,586	315,12	2,18	0,927
215,42	0,512	0,616	313,03	2,22	0,921
225,3	0,635	0,645			
240,36	0,705	0,689			
250,34	0,765	0,718			
257,08	0,812	0,738			
261,72	0,952	0,753			
267,09	1,021	0,770			
275,68	1,124	0,796			
279,32	1,222	0,808			

Observaciones:

Realizado por:	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



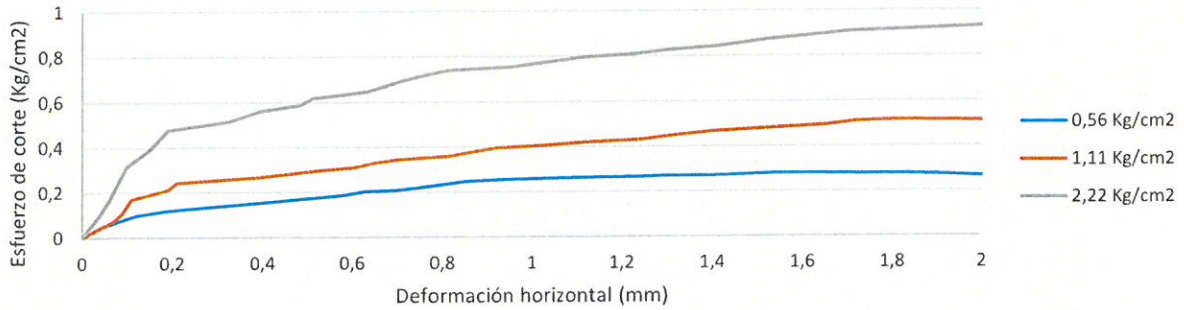
CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS
NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

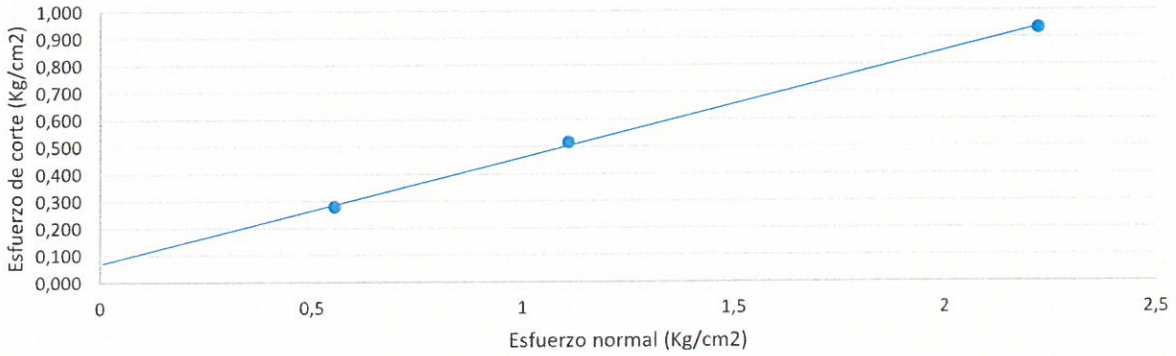
DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,55

Esfuerzo de corte vs Deformación horizontal



Esfuerzo de corte vs Esfuerzo normal



RESULTADOS DE ENSAYO

Cohesión (Kpa)	6,699	Angulo de fricción (°)	21,37
Cohesión (Kg/cm ²)	0,068		

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) 1,90

DESCRIPCIÓN DEL SUELO

Clasificación SUCS	(-)	SM	Límite líquido	(%)	37
Condición	(-)	Remoldeado	Índice Plástico	(%)	NP

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPÉCIMENES DE ENSAYO

DESCRIPCIÓN		0,56 Kg/cm ²	1,11 Kg/cm ²	2,22 Kg/cm ²
Lado	(cm)	6	6	6
Área	(cm ²)	36	36	36
Altura Inicial	(cm)	2,5	2,5	2,5
Altura Final	(cm)	2,47	2,45	2,42
Volumen Inicial	(cm ³)	90	90	90
Volumen Final	(cm ³)	88,92	88,20	87,12
Peso Húmedo Inicial	(gr)	124,74	124,74	124,74
Peso Húmedo Final	(gr)	158,4	156,3	154,8
Peso Seco	(gr)	122,4	122,4	122,4
Humedad Inicial	(%)	1,91	1,91	1,91
Humedad Final	(%)	29,41	27,70	26,47
Densidad Húmeda Inicial	(gr/cm ³)	1,386	1,386	1,386
Densidad Húmeda Final	(gr/cm ³)	1,781	1,772	1,777
Densidad Seca Inicial	(gr/cm ³)	1,360	1,360	1,360
Densidad Seca final	(gr/cm ³)	1,377	1,388	1,405

Observaciones:

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

PROF. (m) : 1,90

ESFUERZO NORMAL: 1,11 kg/cm ²		INICIAL	FINAL
Altura	(cm)	2,5	2,45
Volumen	(cm ³)	90	88,2
Humedad	(%)	1,91	27,7
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,360	1,388
Esfuerzo corte	(kgf/cm ³)	0,674	

Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)	Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
0	0,00	0,000	223,159	1,455	0,648
14	0,05	0,075	224,751	1,576	0,654
45	0,1	0,128	225,885	1,658	0,658
80,41	0,16	0,228	226,52	1,735	0,661
95,28	0,21	0,271	229,11	1,825	0,670
110,88	0,29	0,316	230,05	1,935	0,674
135,18	0,384	0,385	227,68	2,042	0,668
160,851	0,486	0,459	227,24	2,105	0,667
170,46	0,567	0,488	226,47	2,168	0,666
190,23	0,642	0,545	225,76	2,21	0,664
200,33	0,742	0,575			
205,86	0,811	0,591			
210,52	0,878	0,605			
217,12	0,953	0,625			
220,86	1,098	0,637			
220,864	1,195	0,638			
221,342	1,274	0,641			
222,475	1,367	0,645			

Observaciones:

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian Tiznado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS

NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 16/05/2025

COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

ESFUERZO NORMAL: 2,22 kg/cm ²		INICIAL	FINAL
Altura	(cm)	2,5	2,42
Volumen	(cm ³)	90	87,12
Humedad	(%)	1,91	26,47
Densidad seca	(gr/cm ³)	1,360	1,405
Esfuerzo corte	(kgf/cm ³)	1,194	

Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)	Carga (N)	Def. Lateral (mm)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
0	0,00	0,000	395,48	1,395	1,147
17	0,06	0,104	400,36	1,475	1,163
55,3	0,08	0,157	404,12	1,587	1,176
80,24	0,1	0,228	405,16	1,666	1,181
120,42	0,17	0,342	406,53	1,768	1,187
170,5	0,21	0,485	406,82	1,859	1,190
210,45	0,25	0,599	407,09	1,911	1,191
240,7	0,28	0,685	407,12	2,024	1,194
275,62	0,374	0,786	406,28	2,124	1,193
305,24	0,453	0,871	404,19	2,225	1,189
330,56	0,527	0,945			
340,24	0,615	0,974			
360,14	0,742	1,033			
365,19	0,864	1,050			
370,68	0,975	1,068			
379,09	1,094	1,094			
388,28	1,204	1,123			
390,56	1,324	1,132			

Observaciones:

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambisuxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



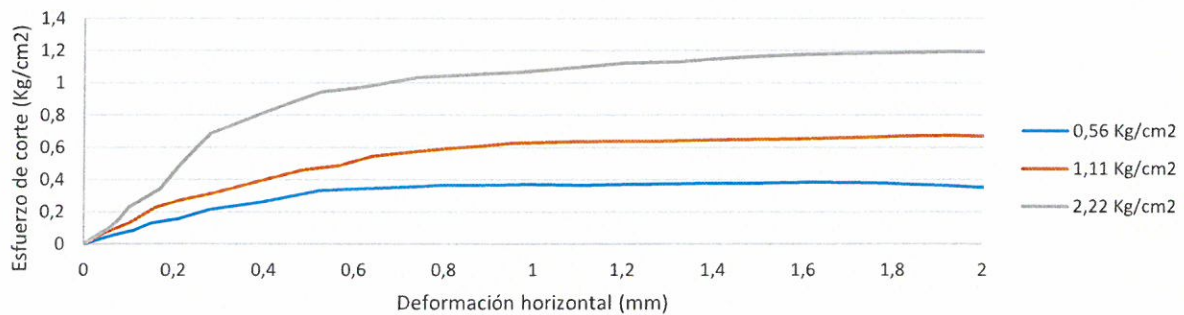
CORTE DIRECTO DE SUELOS BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS
NORMA NTP 339.171

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 16/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

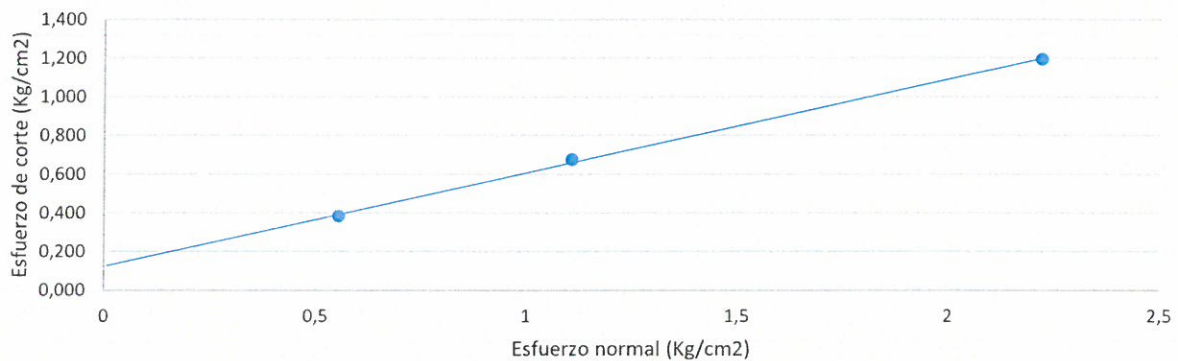
DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,90

Esfuerzo de corte vs Deformación horizontal



Esfuerzo de corte vs Esfuerzo normal




RESULTADOS DE ENSAYO

Cohesión (Kpa)	12,039	Angulo de fricción (°)	25,83
Cohesión (Kg/cm ²)	0,123		

Observaciones:

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia
Firma:	Firma:



	REPORTE DE RESULTADOS		Código	GR-016
			Versión	01
	LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS		Página	01 de 02

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NTP 339.171)**

PROYECTO :	Evaluación geológica-geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asoc. Virgen de Copacabana Mz. L' It. 6.		
SOLICITANTE :	Edwin Koday Chambi Suxo		
UBICACIÓN :	Calana - Calana - Tacna	FECHA DE EJECUCIÓN:	julio 2025
MUESTRA :	Calicata C-03	FECHA DE EMISIÓN:	julio 2025

Material : Suelo de fundación
Profundidad : 0.00 m - 1.90 m

DATOS DEL ESPECIMEN	
Tamaño máximo:	N°4
Tipo:	Remoldeado
G.S:	1.5

DATOS DEL EQUIPO DE CORTE	
Código:	RV-10
Tipo:	Sistema mecánico con desplazamiento lateral controlado electrónicamente
Modelo de Caja:	Circular

DATOS DE ENSAYO			
Especimen N°	1	2	3
Face inicial			
Humedad % :	3.51	3.51	3.51
Densidad húmeda (gr/cm³) :	1.21	1.21	1.21
Densidad seca (gr/cm³) :	1.17	1.17	1.17
Relación de vacíos, e:	0.29	0.29	0.29
Grado de saturación, S (%):	18.45	12.19	12.19
Face final			
Humedad %	32.00	32.50	31.00
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.21	1.21	1.21
Densidad seca (gr/cm³)	0.92	0.91	0.92
Relación de vacíos, e:	0.64	0.65	0.63
Grado de saturación, S (%):	75.11	60.84	59.76

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
Diametro (mm):	63.00
Altura (mm):	21.00
Area (mm²):	311.72
volumen (mm³):	654.62
Velocidad de corte (mm/min):	0.1


FERNANDO K. INCA CUTIPA AGUILAR
 Ingeniero Geólogo - Geotécnico
 CIP: 281871

REGISTRO DE ENSAYO								
Espécimen No. 1			Espécimen No. 2			Espécimen No. 3		
Esfuerzo normal (kPa): 47			Esfuerzo normal (kPa): 94			Esfuerzo normal (kPa): 187		
Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)	Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)	Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)
Vertical (mm)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	Horizontal (mm)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.152	0.060	8.672	0.254	0.020	9.628	0.330	0.090	20.247
0.152	0.080	12.853	0.254	0.060	16.059	0.330	0.100	29.573
0.152	0.100	15.751	0.254	0.110	22.184	0.330	0.120	36.338
0.152	0.210	18.041	0.254	0.160	25.425	0.330	0.150	43.439
0.152	0.230	19.338	0.254	0.220	27.067	0.355	0.250	49.009
0.152	0.330	20.669	0.254	0.260	29.669	0.355	0.290	55.502
0.152	0.350	21.970	0.254	0.340	34.563	0.355	0.340	59.435
0.152	0.400	22.639	0.279	0.350	35.216	0.355	0.430	60.838
0.152	0.480	23.971	0.279	0.450	35.611	0.381	0.520	64.516
0.152	0.550	24.330	0.279	0.500	35.972	0.381	0.550	67.800
0.152	0.600	24.680	0.279	0.600	37.020	0.381	0.600	72.091
0.178	0.630	24.695	0.279	0.650	37.708	0.381	0.690	73.200
0.178	0.700	24.730	0.279	0.750	38.437	0.381	0.760	76.237
0.178	0.800	25.433	0.279	0.800	41.085	0.381	0.850	78.337
0.178	0.930	25.501	0.279	0.920	42.167	0.406	0.940	79.790
0.178	1.120	25.930	0.279	1.000	43.546	0.406	1.080	80.677
0.178	1.160	26.280	0.305	1.150	45.323	0.406	1.160	82.453
0.178	1.250	26.329	0.305	1.220	47.691	0.406	1.260	82.953
0.178	1.350	25.724	0.305	1.330	48.459	0.406	1.380	85.470
0.178	1.450	25.777	0.305	1.420	50.202	0.406	1.480	88.955
0.178	1.550	25.500	0.305	1.520	50.968	0.406	1.560	89.434
0.178	1.610	25.200	0.305	1.690	51.149	0.406	1.660	90.285
0.178	1.710	24.921	0.305	1.750	53.209	0.406	1.800	90.550
0.178	1.820	24.978	0.305	1.800	53.265	0.406	1.880	90.702
0.178	1.930	24.702	0.305	1.950	53.099	0.406	1.950	90.502
0.178	2.100	24.791	0.305	2.030	51.516	0.406	2.100	89.783
0.178	2.200	24.843	0.305	2.100	41.206	0.406	2.110	89.802

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NTP 339.171)**

PROYECTO : Evaluación geológica-geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asoc. Virgen de Copacabana Mz. L' It. 6.

SOLICITANTE : Edwin Koday Chambi Suxo

UBICACIÓN : Calana - Calana - Tacna

MUESTRA : Calicata C-03

FECHA DE EJECUCIÓN: julio 2025

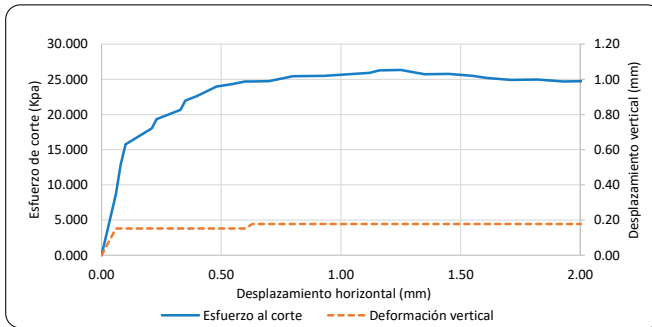
FECHA DE EMISIÓN: julio 2025

Material : Suelo de fundación

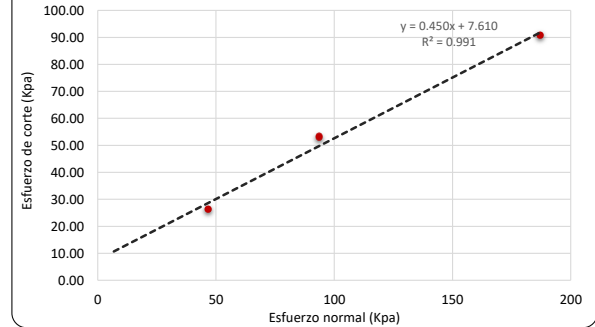
Profundidad : 0.00 m - 1.90 m

GRÁFICOS

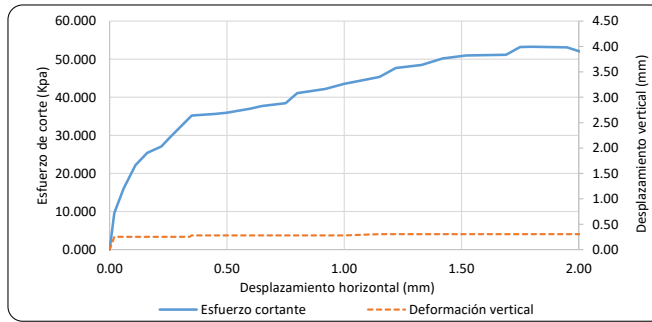
Especimen N° 1



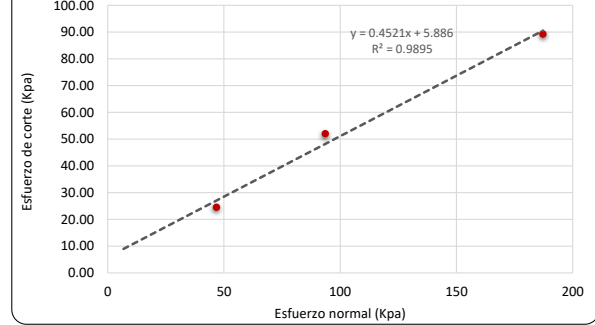
Lineal máximo



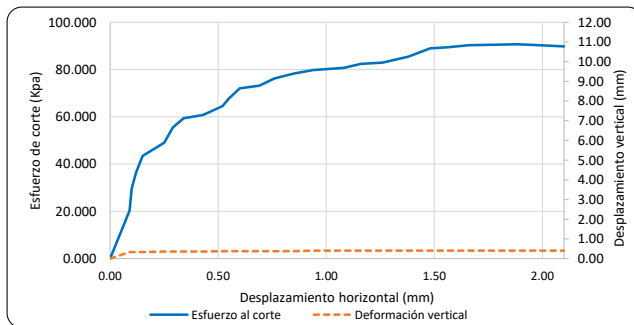
Especimen N° 2



Lineal residual




Especimen N° 3



RESULTADOS

PARÁMETROS	MÁXIMO	RESIDUAL
Ángulo de fricción interna (°)	24.23	-
Cohesión (Kpa)	7.85	-
(kg/cm ²)	0.08	-

[Signature]
FERNANDO A. INCACUTIPA AGUILAR
Ingeniero Geólogo - Geotécnico
CIP: 281871

	REPORTE DE RESULTADOS	Código	GR-016
		Versión	01
	LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS	Página	01 de 02

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NTP 339.171)**

PROYECTO :	Evaluación geológica-geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asoc. Virgen de Copacabana Mz. L' It. 6.		
SOLICITANTE :	Edwin Koday Chambi Suxo		
UBICACIÓN :	Calana - Calana - Tacna	FECHA DE EJECUCIÓN:	julio 2025
MUESTRA :	Calicata C-04	FECHA DE EMISIÓN:	julio 2025

Material : Suelo de fundación
Profundidad : 0.00 m - 1.55 m

DATOS DEL ESPECIMEN	
Tamaño máximo:	N°4
Tipo:	Remoldeado
G.S:	2.1

DATOS DEL EQUIPO DE CORTE	
Código:	RV-10
Tipo:	Sistema mecánico con desplazamiento lateral controlado electrónicamente
Modelo de Caja:	Circular

DATOS DE ENSAYO			
Especimen N°	1	2	3
Face inicial			
Humedad % :	16.44	16.44	16.44
Densidad húmeda (gr/cm³) :	1.76	1.76	1.76
Densidad seca (gr/cm³) :	1.51	1.51	1.51
Relación de vacíos, e:	0.39	0.39	0.39
Grado de saturación, S (%):	87.96	5.01	5.01
Face final			
Humedad %	22.00	21.00	20.80
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.76	1.76	1.76
Densidad seca (gr/cm³)	1.44	1.45	1.45
Relación de vacíos, e:	0.46	0.45	0.44
Grado de saturación, S (%):	100.65	82.49	82.14

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	
Diametro (mm):	63.00
Altura (mm):	21.00
Area (mm²):	311.72
volumen (mm³):	654.62
Velocidad de corte (mm/min):	0.1


FERNANDO K. INCA CUTIPA AGUILAR
 Ingeniero Geólogo - Geotécnico
 CIP: 281871

REGISTRO DE ENSAYO								
Espécimen No. 1			Espécimen No. 2			Espécimen No. 3		
Esfuerzo normal (kPa): 47			Esfuerzo normal (kPa): 94			Esfuerzo normal (kPa): 187		
Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)	Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)	Desplazamiento		Esfuerzo al corte (kPa)
Vertical (mm)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	Horizontal (mm)		Vertical (mm)	Horizontal (mm)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.127	0.060	5.781	0.203	0.050	11.239	0.254	0.070	22.488
0.127	0.080	8.997	0.203	0.100	18.644	0.254	0.120	35.373
0.127	0.100	12.215	0.203	0.130	25.731	0.254	0.130	40.527
0.127	0.210	18.363	0.203	0.160	28.965	0.254	0.160	48.597
0.127	0.230	21.271	0.203	0.220	33.512	0.254	0.230	54.790
0.127	0.330	23.898	0.228	0.250	36.756	0.279	0.300	61.969
0.127	0.350	25.523	0.203	0.340	41.023	0.279	0.330	66.205
0.127	0.400	26.520	0.203	0.370	42.987	0.279	0.440	70.237
0.127	0.480	27.859	0.203	0.440	44.667	0.279	0.520	76.836
0.127	0.550	28.223	0.203	0.520	46.685	0.279	0.560	78.846
0.127	0.600	28.577	0.203	0.620	47.106	0.305	0.590	80.193
0.127	0.630	28.594	0.228	0.660	48.120	0.305	0.690	81.333
0.152	0.700	28.635	0.228	0.770	49.206	0.305	0.760	85.034
0.152	0.800	29.346	0.228	0.810	50.225	0.305	0.840	87.132
0.152	0.930	29.425	0.228	0.960	50.707	0.305	0.940	88.619
0.152	1.120	29.868	0.228	1.020	52.080	0.305	1.070	89.513
0.152	1.160	30.222	0.228	1.150	52.877	0.305	1.160	91.979
0.152	1.250	30.278	0.228	1.220	54.927	0.305	1.250	92.480
0.152	1.350	29.681	0.228	1.330	55.712	0.305	1.370	95.020
0.152	1.450	29.743	0.228	1.450	57.503	0.305	1.480	98.875
0.152	1.550	29.474	0.228	1.520	58.249	0.305	1.550	99.682
0.152	1.610	29.179	0.228	1.690	58.456	0.305	1.670	100.596
0.152	1.710	28.908	0.228	1.770	60.883	0.305	1.810	100.891
0.152	1.820	28.975	0.228	1.810	60.934	0.305	1.890	101.061
0.152	1.930	28.708	0.228	1.960	60.793	0.305	1.950	100.854
0.152	2.100	28.811	0.228	2.150	59.024	0.305	2.130	99.897
0.152	2.200	28.872	0.228	2.180	47.317	0.305	2.110	99.855

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO
(NTP 339.171)**

PROYECTO : Evaluación geológica-geotécnica en suelos potencialmente colapsables con fines de cimentación de viviendas en la Asoc. Virgen de Copacabana Mz. L' It. 6.

SOLICITANTE : Edwin Koday Chambi Suxo

UBICACIÓN : Calana - Calana - Tacna

MUESTRA : Calicata C-04

FECHA DE EJECUCIÓN: julio 2025

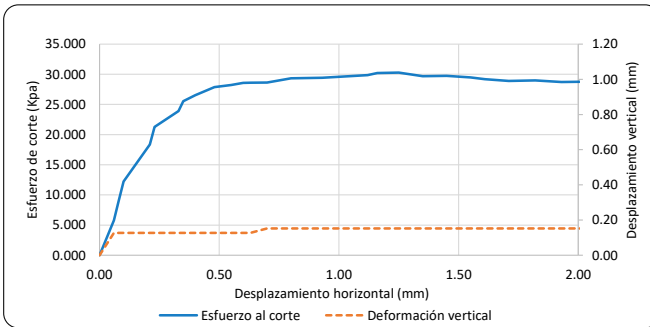
FECHA DE EMISIÓN: julio 2025

Material : Suelo de fundación

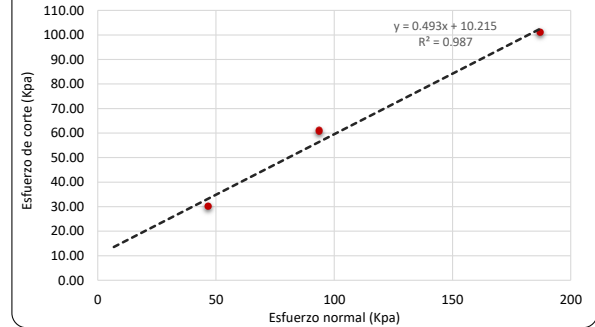
Profundidad : 0.00 m - 1.55 m

GRÁFICOS

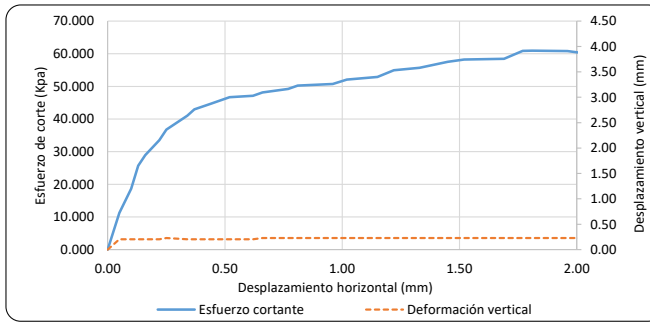
Especimen N° 1



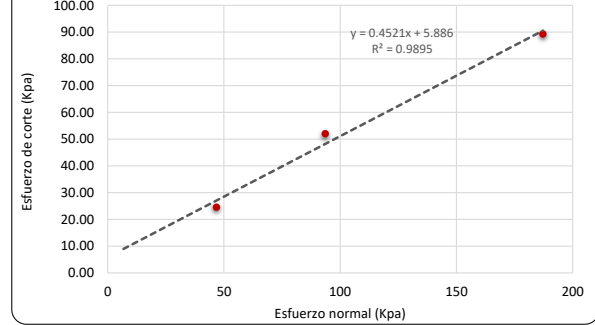
Lineal máximo



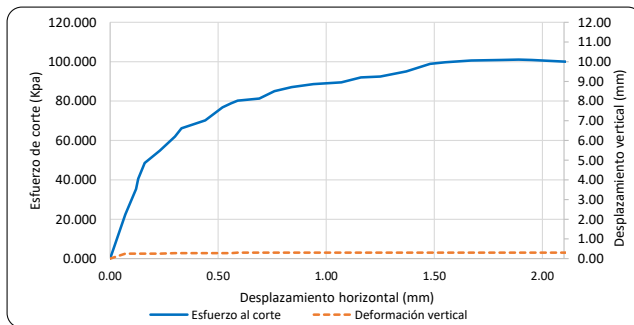
Especimen N° 2



Lineal residual



Especimen N° 3



RESULTADOS

PARÁMETROS	MÁXIMO	RESIDUAL
Ángulo de fricción interna (°)	26.25	-
Cohesión (Kpa)	9.81	-
(kg/cm ²)	0.10	-

[Signature]
FERNANDO K. INCACUTIPA AGUILAR
Ingeniero Geólogo - Geotécnico
CIP: 281871

*Observaciones: Se remoldeo al 90 % de su densidad.

Colapsabilidad



ENSAYO DE POTENCIAL DE COLAPSO

NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333

PROYECTO	EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA		
UBICACIÓN	ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	MUESTRA	C-04
SOLICITANTE		FECHA	JUNIO DEL 2025

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

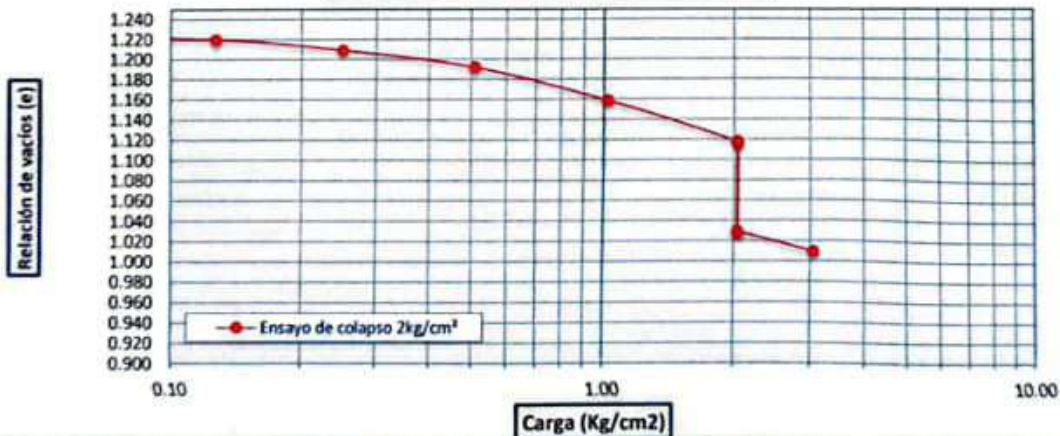
Diametro	(cm.)	6.18	Area	(cm ²)	30.00
Altura	(cm.)	2.00	Volumen	(cm ³)	60.00
Peso específico	(gr/cm ³)	2.446	Peso	(gr.)	68.16
Densidad Natural	(gr/cm ³)	1.136	Densidad Seca	(gr/cm ³)	1.095
Humedad	(%)	3.74	Densidad del agua	(gr/cm ³)	1.000

LECTURA DEL DIAL A DIFERENTES CARGAS

RELACION DE VACIOS A DIFERENTES CARGAS

Carga (kg/cm ²)	lectura del dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm ²)	Relacion de vacios (e)
0.01	822.9	2.00	0.01	1.234
0.127	810.4	1.99	0.127	1.220
0.25	801.0	1.98	0.25	1.209
0.51	785.6	1.96	0.51	1.192
1.02	756.0	1.93	1.02	1.159
2.04	719.1	1.90	2.04	1.118
2.04 - saturación de muestra	639.9	1.82	2.04 - saturación de muestra	1.029
3.06	622.0	1.80	3.06	1.009

ENSAYO DE COLAPSO A 2Kg/cm²



CARGA APLICADA (Kg/cm ²)	INDICE DE COLAPSO Ic (%)	GRADO
2.00	3.96	MODERADO

Ic (%)	Grado de Colapso
0	Ninguno
0.1 a 2.0	Leve
2.1 a 6.0	Moderado
6.1 a 10.0	Moderadamente severo
>10.0	Severo

Ref.: NTP 339.163

Observaciones: El índice de colapso a 2 Kg/cm² es 3.96% ,por lo tanto, el grado de colapso es catalogado como "Moderado"; según lo propuesto por Cienfuegos y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones.





ENSAYO DE POTENCIAL DE COLAPSO

NORMA NTP 339.163, ASTM D-5333

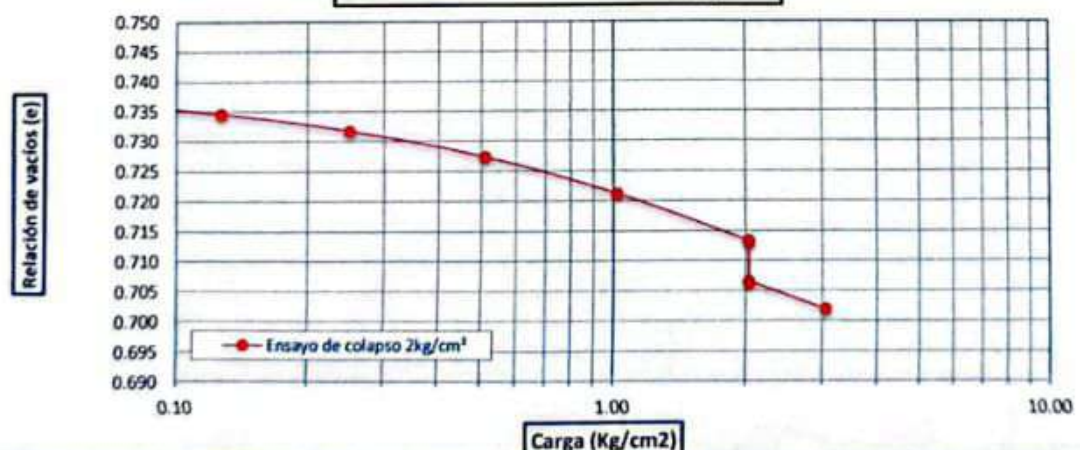
PROYECTO	EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA		
UBICACIÓN	ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	MUESTRA	T-01a
SOLICITANTE		FECHA	JUNIO DEL 2025

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

Diametro (cm.)	6.18	Area (cm ²)	30.00
Altura (cm.)	2.00	Volumen (cm ³)	60.00
Peso específico (gr/cm ³)	2.220	Peso (gr.)	77.88
Densidad Natural (gr/cm ³)	1.298	Densidad Seca (gr/cm ³)	1.274
Humedad (%)	1.87	Densidad del agua (gr/cm ³)	1.000

LECTURA DEL DIAL A DIFERENTES CARGAS			RELACION DE VACIOS A DIFERENTES CARGAS	
Carga (kg/cm ²)	lectura del dial (0.01 mm)	altura de la muestra (cm)	Carga (kg/cm ²)	Relacion de vacíos (e)
0.01	732.0	2.00	0.01	0.742
0.127	723.1	1.99	0.127	0.735
0.25	719.8	1.99	0.25	0.732
0.51	714.9	1.98	0.51	0.727
1.02	707.8	1.98	1.02	0.721
2.04	698.8	1.97	2.04	0.713
2.04 - saturación de muestra	691.0	1.96	2.04 - saturación de muestra	0.707
3.06	685.7	1.95	3.06	0.702

ENSAYO DE COLAPSO A 2Kg/cm²



CARGA APLICADA (Kg/cm ²)	INDICE DE COLAPSO I _c (%)	GRADO
2.00	0.39	LEVE

I _c (%)	Grado de Colapso
0	Ninguno
0.1 a 2.0	Leve
2.1 a 6.0	Moderado
6.1 a 10.0	Moderadamente severo
>10.0	Severo

Ref.: NTP 339.163

Observaciones: El índice de colapso a 2 Kg/cm² es 0.39 % ,por lo tanto, el grado de colapso es catalogado como "Leve"; según lo propuesto por Clemente y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones.

IONATAN EDILBERTO ROJAS CANAZA
 Ingeniero Civil
 C.I.P. N° 186048



Proctor modificado



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA NTP 339.141 (ASTM D 1557)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 21/05/2025
COORDENADAS : 19K 372216 E/ 8014342 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

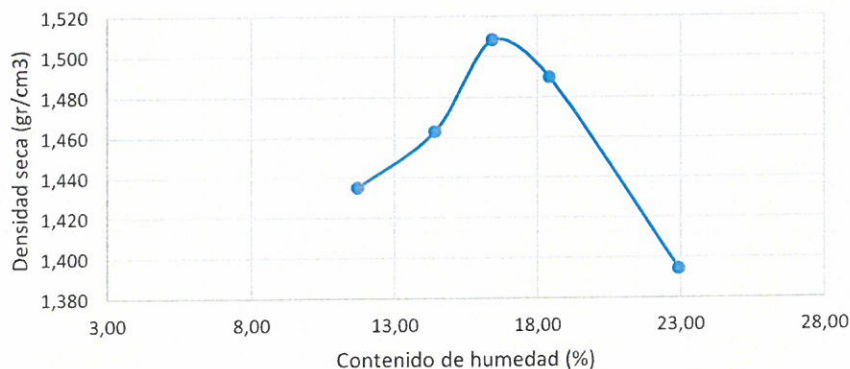
DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
PROF. (m) : 1,55

COMPACTACIÓN - METODO A

Descripción	Und.	1	2	3	4	5
Peso molde	(gr)	4215,4	4215,4	4215,4	4215,4	4215,4
Peso muestra húmeda + molde	(gr)	5727,1	5793,8	5871,2	5878,8	5831,8
Peso muestra húmeda	(gr)	1511,7	1578,4	1655,8	1663,4	1616,4
Volumen del molde	(cc)	942,881	942,881	942,881	942,881	942,881
Densidad húmeda	(gr/cc)	1,603	1,674	1,756	1,764	1,714

N° de tara	Und.	2b	3	d	e	f
Peso húmedo + tara	(gr)	399,6	461,2	395	338,6	267
Peso seco + tara	(gr)	376,9	427,1	361,4	313,5	231,8
Peso del agua	(gr)	22,7	34,1	33,6	25,1	35,2
Peso de la tara	(gr)	183,3	190,7	157	177,3	78,4
Peso de la muestra seca	(gr)	193,6	236,4	204,4	136,2	153,4
Contenido de humedad (CH)	(%)	11,73	14,42	16,44	18,43	22,95
Densidad Seca (DS)	(gr/cc)	1,435	1,463	1,508	1,490	1,394



RESULTADO	
DS max	1,508
CH optima	16,44

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Usnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

NORMA NTP 339.141 (ASTM D 1557)

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON
FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6,
DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA

FECHA : 23/05/2025

COORDENADAS : 19K 372186 E/ 8014340 N

TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a

NIVEL FREÁTICO : No presenta

MUESTRA : E-1

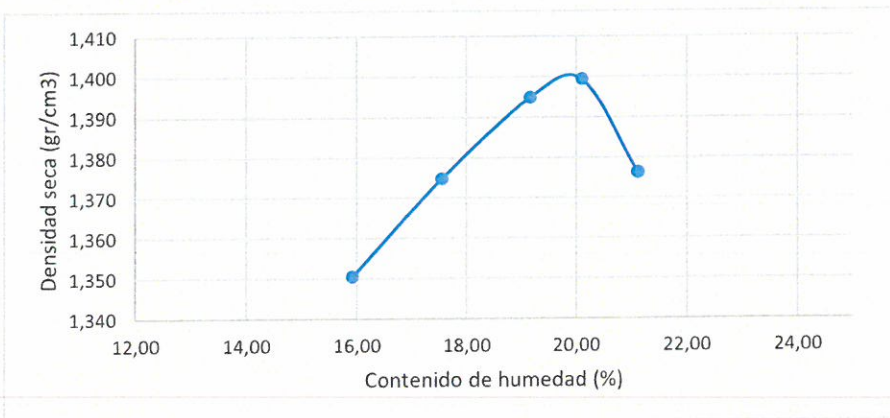
MÉTODO EXC. : Manual

PROF. (m) : 1,90

COMPACTACIÓN - METODO A

Descripción	Und.	1	2	3	4	5
Peso molde	(gr)	4215,4	4215,4	4215,4	4215,4	4215,4
Peso muestra húmeda + molde	(gr)	5691,6	5739,1	5782,5	5800	5787
Peso muestra húmeda	(gr)	1476,2	1523,7	1567,1	1584,6	1571,6
Volumen del molde	(cc)	942,881	942,881	942,881	942,881	942,881
Densidad húmeda	(gr/cc)	1,566	1,616	1,662	1,681	1,667

N° de tara	Und.	a	3	d	e	f
Peso húmedo + tara	(gr)	344,9	382,9	370,3	429,3	274,5
Peso seco + tara	(gr)	319,9	354,2	336	387,1	240,3
Peso del agua	(gr)	25	28,7	34,3	42,2	34,2
Peso de la tara	(gr)	163	190,7	157	177,2	78,4
Peso de la muestra seca	(gr)	156,9	163,5	179	209,9	161,9
Contenido de humedad (CH)	(%)	15,93	17,55	19,16	20,10	21,12
Densidad Seca (DS)	(gr/cc)	1,350	1,375	1,395	1,399	1,376



RESULTADO	
DS max	1,400
CH optima	19,85

Observaciones: _____

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia
Firma:	Firma:



Capacidad de carga

Capacidad de carga – método de Terzaghi
(Falla de corte general)

Factores de capacidad de carga de Terzaghi. De Kumbhojkar (1993)

ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente: (Braja M. Das, 2012)



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte general	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.080
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	24.23
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.208
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	23.7671
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	11.7036
Factor peso unitario del suelo (N _γ)	(-)	7.3698

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 1,3 * c' * N_c + q * N_q + 0,4 * \gamma * B * N_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.1812	4.949	1.650
1.00	1.90	0.22952	5.514	1.838

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	17.77572	485.456	161.819
1.00	1.90	22.515912	540.933	180.311

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Fisanco Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte general	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.068
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	21.37
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.170
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	19.4195
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	8.6041
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	4.5986

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Qu = 1,3 * c' * Nc + q * Nq + 0,4 * \gamma * B * Ny \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Qadm = Qu/FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.1755	3.442	1.147
1.00	1.90	0.2223	3.845	1.282

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	17.21655	337.652	112.551
1.00	1.90	21.80763	377.154	125.718

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025
COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte general	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.123
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	25.83
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.386
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	26.7568
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	13.9567
Factor peso unitario del suelo (N _γ)	(-)	9.585

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 1,3 * c' * N_c + q * N_q + 0,4 * \gamma * B * N_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.2079	7.711	2.570
1.00	1.90	0.26334	8.485	2.828

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	20.39499	756.489	252.163
1.00	1.90	25.833654	832.394	277.465

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte general	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.100
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	26.25
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.756
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	27.6275
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	14.6325
Factor peso unitario del suelo (N _γ)	(-)	10.28

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 1,3 * c' * N_c + q * N_q + 0,4 * \gamma * B * N_{\gamma} \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.2634	8.168	2.723
1.00	1.90	0.33364	9.196	3.065

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	25.83954	801.265	267.088
1.00	1.90	32.730084	902.091	300.697

Observaciones: Muestra compactada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:



**Capacidad de carga – método de Terzaghi
(Falla de corte local)**

Factores de capacidad de carga modificados de Terzaghi N'_c , N'_q y N'_γ

ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

Fuente: (Braja M. Das, 2012)



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte local	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.080
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	24.23
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.208
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	14.2918
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	5.292
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	2.0344

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 0,867 * c' * N'_c + q * N'_q + 0,4 * \gamma * B * N'_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.1812	2.048	0.683
1.00	1.90	0.22952	2.304	0.768

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	17.77572	200.957	66.986
1.00	1.90	22.51591	226.042	75.347

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025
COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte local	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.068
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	21.37
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.170
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	12.5735
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	4.2847
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	1.424

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Qu = 0,867 * c' * N'c + q * N'q + 0,4 * \gamma * B * N'_{\gamma} \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Qadm = Qu/FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.1755	1.560	0.520
1.00	1.90	0.2223	1.760	0.587

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	17.21655	153.025	51.008
1.00	1.90	21.80763	172.697	57.566

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Pizarro Valdivia
Firma:	Firma:





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025
COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte local	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.123
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	25.83
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.386
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	15.4059
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	5.9735
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	2.5322

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 0,867 * c' * N'_c + q * N'_q + 0,4 * \gamma * B * N'_\gamma \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.2079	3.025	1.008
1.00	1.90	0.26334	3.356	1.119

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	20.39499	296.770	98.923
1.00	1.90	25.833654	329.258	109.753

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tisnado Valdivia Firma:
---	---





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE TERZAGHI

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 28/07/2025

COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-04 **NIVEL FREÁTICO** : No presenta

MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual

SUCS : SM

DATOS GENERALES

Tipo de falla	Falla de corte local	
Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.100
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	26.25
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.756
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	15.7225
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	6.1725
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	2.6625

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Q_u = 0,867 * c' * N'c + q * N'q + 0,4 * \gamma * B * N'y \quad (\text{Cimentación cuadrada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Q_{adm} = Q_u / FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.2634	3.176	1.059
1.00	1.90	0.33364	3.610	1.203

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	25.83954	311.565	103.855
1.00	1.90	32.730084	354.097	118.032

Observaciones: Muestra compactada

Realizado por	Verificado por
Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo	Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tispado Valdivia
Firma:	Firma:



Capacidad de carga – método de Meyerhof



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
 UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE MEYERHOF

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA FECHA : 22/11/2025
 COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N TESISTA : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : C-03 NIVEL FREÁTICO : No presenta
 MUESTRA : E-1 MÉTODO EXC. : Manual
 SUCS : SM

DATOS GENERALES

Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.080
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	24.23
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.208
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	19.6335
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	9.836
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	5.9425

FACTORES DE FORMA			FACTORES DE PROFUNDIDAD			FACTORES DE INCLINACIÓN		
Ancho B	(m)	1.00	Desp. Df	(m)	1.50	1.90		
Sc	(-)	1.4784	dc	(-)	1.464	1.5877	ic	(-) 1
Sq	(-)	1.2392	dq	(-)	1.232	1.2939	iq	(-) 1
Sy	(-)	1.2392	dy	(-)	1.232	1.2939	iy	(-) 1

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Qu = c * Nc * Sc * dc * ic + q * Nq * Sq * dq * iq + 0,5 * \gamma * B * Ny * Sy * dy * iy \quad (\text{Zapata aislada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Qadm = Qu/FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.1812	6.669	2.223
1.00	1.90	0.22952	7.882	2.627

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	17.77572	654.182	218.061
1.00	1.90	22.515912	773.230	257.743

Observaciones: Muestra remoldeada

Realizado por Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian J. Tiznado Valdivia Firma:
--	--





LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA



CAPACIDAD DE CARGA PERMISIBLE DEL SUELO - MÉTODO DE MEYERHOF

PROYECTO : "EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA"
UBICACIÓN : DISTRITO DE CALANA - TACNA **FECHA** : 22/11/2025
COORDENADAS : 19K 372179 E/ 8014304 N **TESISTA** : E.K.Ch.S.

DATOS DE LA MUESTRA

CALICATA : T-01a **NIVEL FREÁTICO** : No presenta
MUESTRA : E-1 **MÉTODO EXC.** : Manual
SUCS : SM

DATOS GENERALES

Cohesión del suelo (c)	(Kg/cm ²)	0.123
Ángulo de fricción interna del suelo	(°)	25.83
Peso específico del suelo	(gr/cm ³)	1.386
Factor de seguridad	(-)	3

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

Factor de cohesión (Nc)	(-)	21.9833
Factor de Sobrecarga (Nq)	(-)	11.6413
Factor peso unitario del suelo (Ny)	(-)	7.7775

FACTORES DE FORMA			FACTORES DE PROFUNDIDAD			FACTORES DE INCLINACIÓN		
Ancho B	(m)	1.00	Desp. Df	(m)	1.50	1.90		
Sc	(-)	1.5088	dc	(-)	1.4785	1.6061	ic	(-)
Sq	(-)	1.2544	dq	(-)	1.2393	1.3031	iq	(-)
Sy	(-)	1.2544	dy	(-)	1.2393	1.3031	iy	(-)

CALCULOS O RESULTADOS

Capacidad de carga última (Qu)

$$Qu = c * Nc * Sc * dc * ic + q * Nq * Sq * dq * iq + 0,5 * \gamma * B * Ny * Sy * dy * iy \quad (\text{Zapata aislada})$$

Capacidad de carga admisible (Qadm)

$$Qadm = Qu/FS$$

Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (Kg/cm ²)	Carga última Qu (Kg/cm ²)	Carga admisible Qadm (Kg/cm ²)
1.00	1.50	0.2079	10.632	3.544
1.00	1.90	0.26334	12.445	4.148

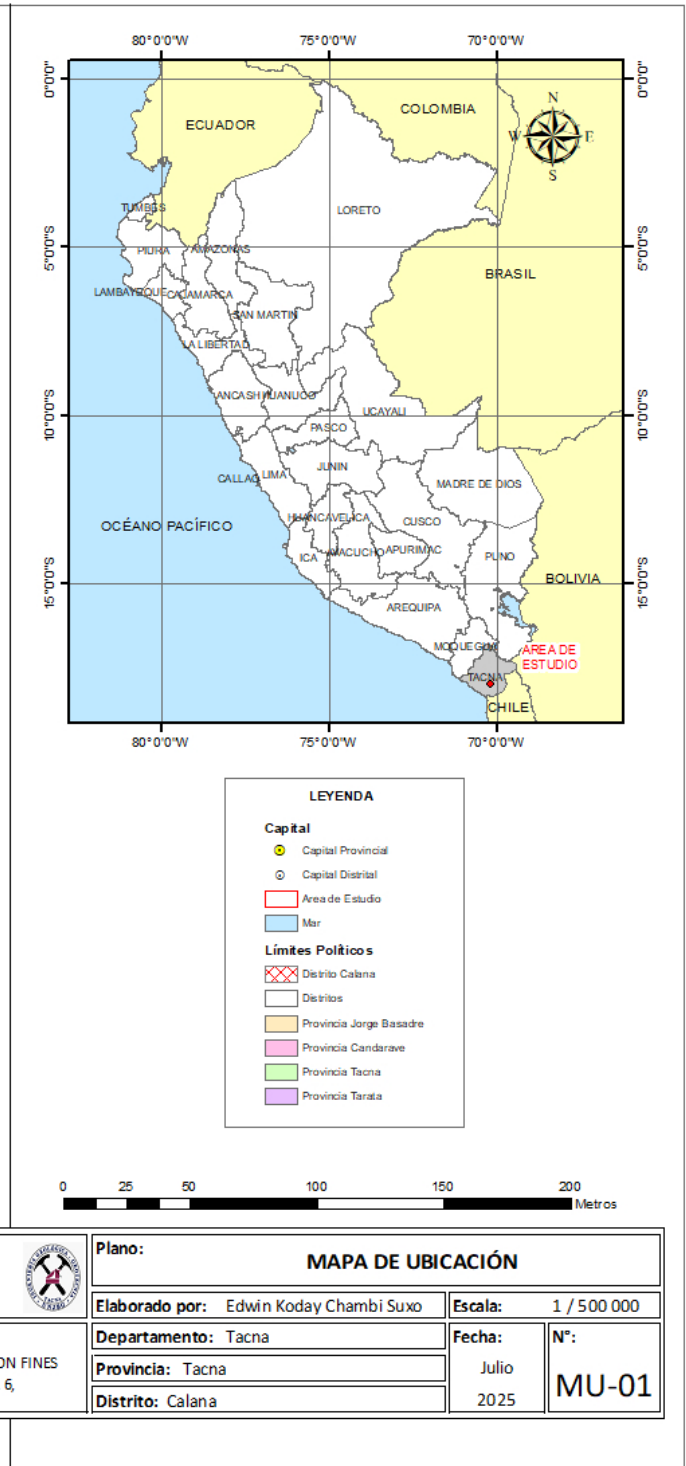
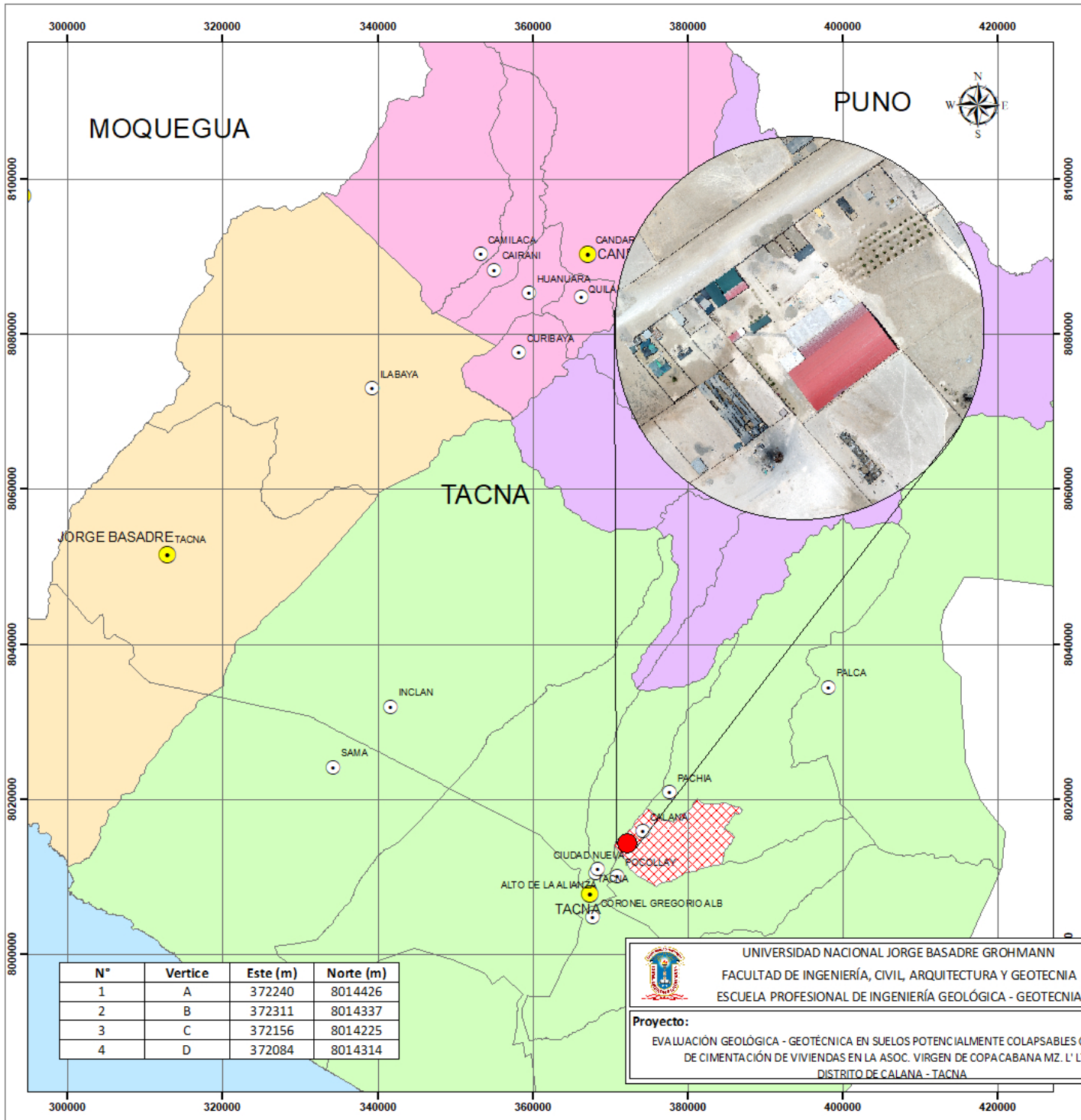
Ancho B (m)	Desplante Df (m)	Carga q (KN/m ²)	Carga última Qu (KN/m ²)	Carga admisible Qadm (KN/m ²)
1.00	1.50	20.39499	1043.016	347.672
1.00	1.90	25.833654	1220.809	406.936

Observaciones: Muestra remoldeada



Realizado por Nombre: Bach. Edwin Koday Chambi Suxo Firma:	Verificado por Nombre: Ing. Edgar Christian Y. Pizarro Valdivia Firma:
---	---



Mapa de ubicación



N°	Vertice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA


Proyecto:
 EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA

Plano: MAPA DE UBICACIÓN

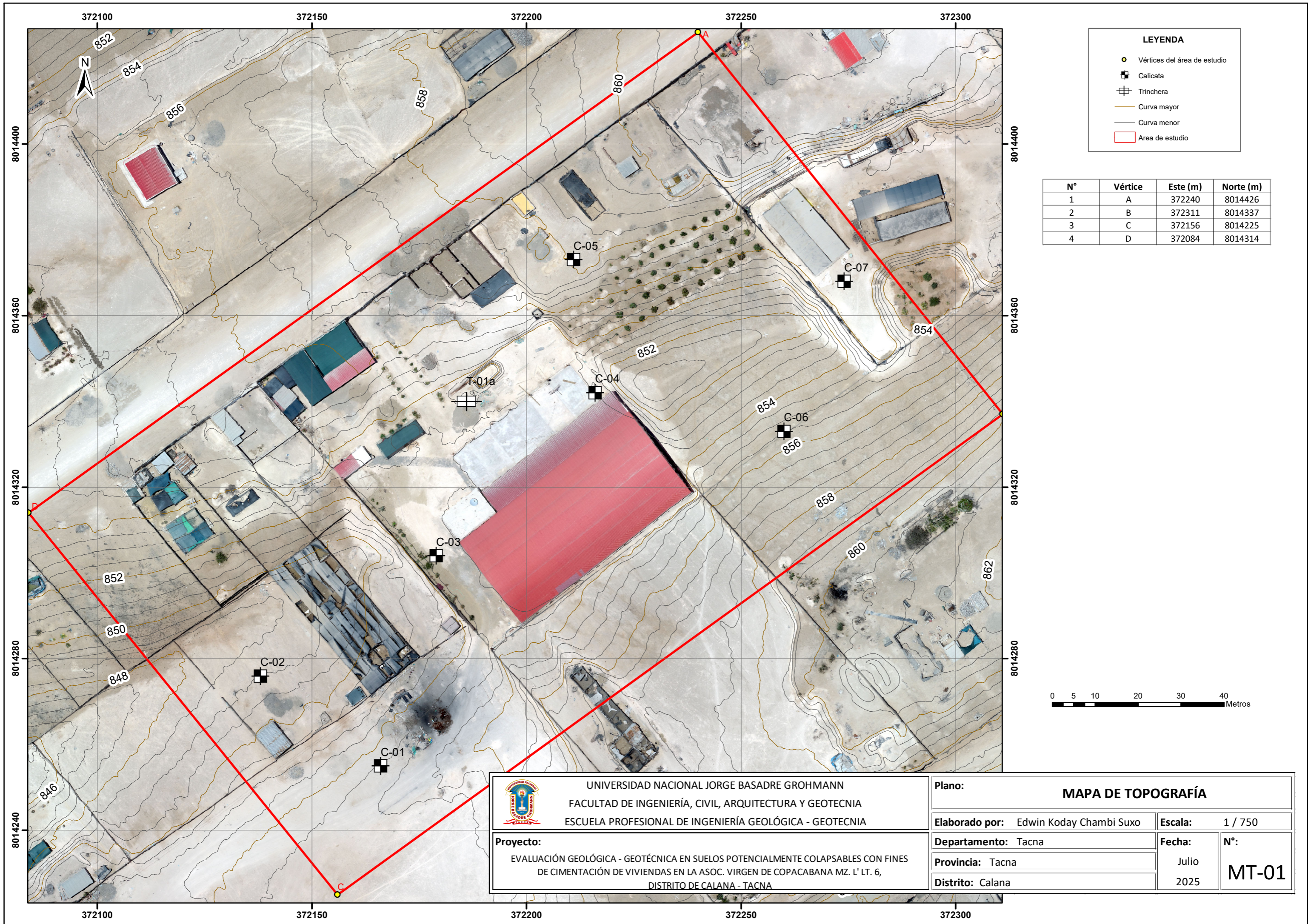
Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo **Escala:** 1 / 500 000

Departamento: Tacna **Fecha:** Julio 2025 **N°:** MU-01

Provincia: Tacna

Distrito: Calana

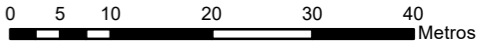
Mapa de topografia




LEYENDA

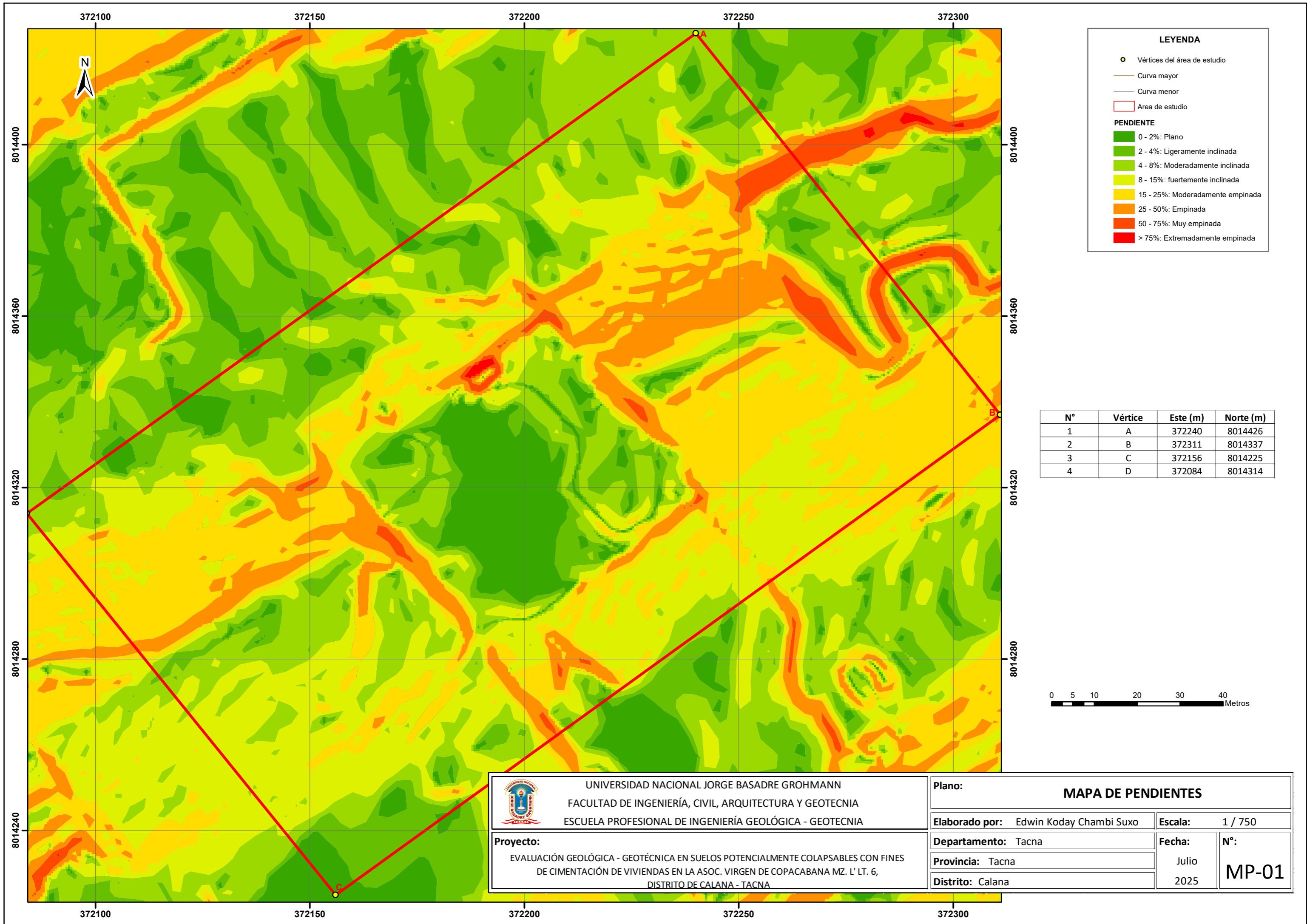
- Vértices del área de estudio
- ⊠ Calicata
- ⊠ Trinchera
- Curva mayor
- Curva menor
- Área de estudio

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	Plano: MAPA DE TOPOGRAFÍA	
	Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo	Escala: 1 / 750
Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	Departamento: Tacna	Fecha: Julio 2025
	Provincia: Tacna	N°: MT-01
	Distrito: Calana	

Mapa de pendientes



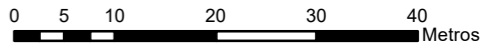
LEYENDA


- Vértices del área de estudio
- Curva mayor
- Curva menor
- Área de estudio

PENDIENTE

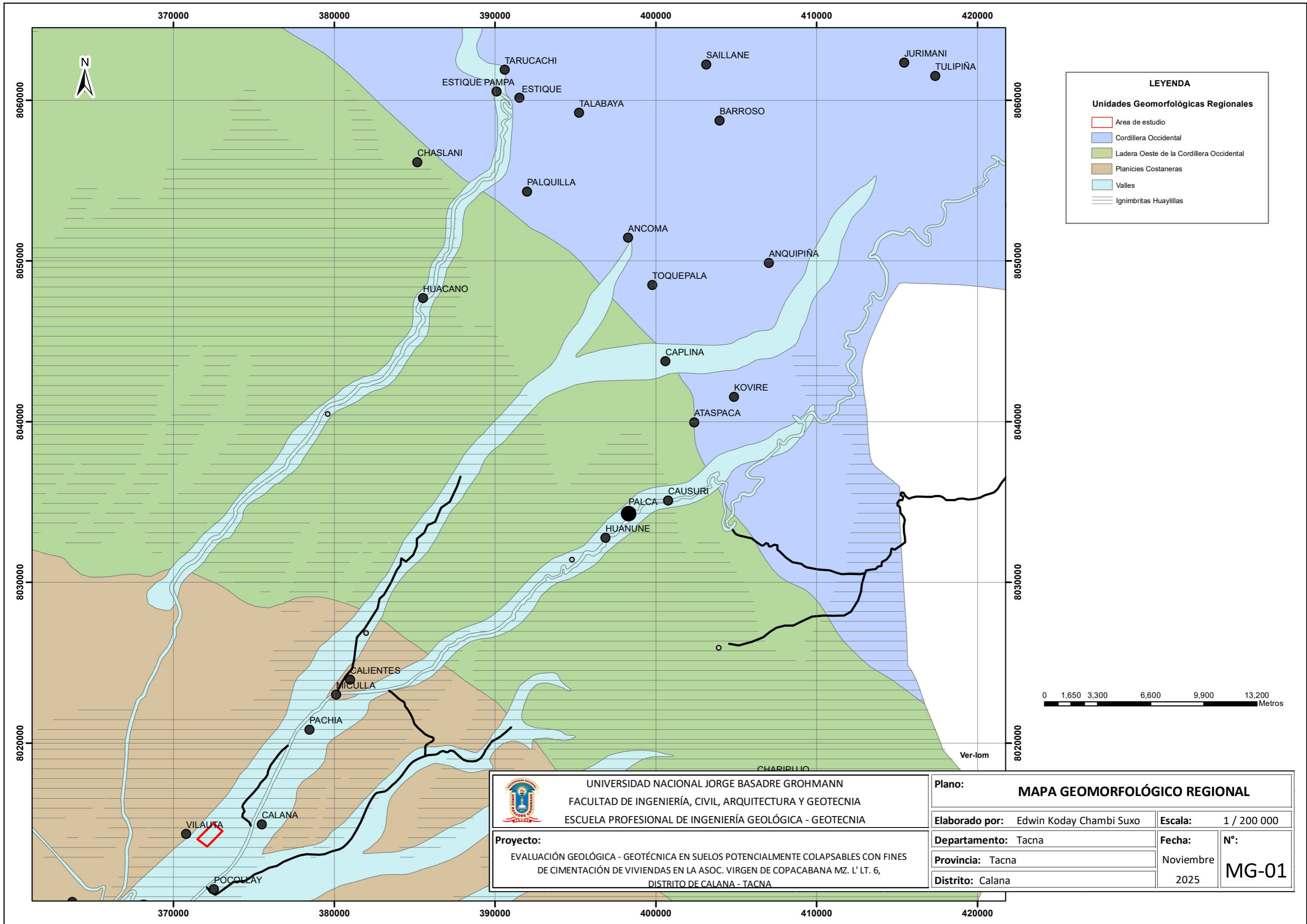
- 0 - 2%: Plano
- 2 - 4%: Ligeramente inclinada
- 4 - 8%: Moderadamente inclinada
- 8 - 15%: fuertemente inclinada
- 15 - 25%: Moderadamente empinada
- 25 - 50%: Empinada
- 50 - 75%: Muy empinada
- > 75%: Extremadamente empinada

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314

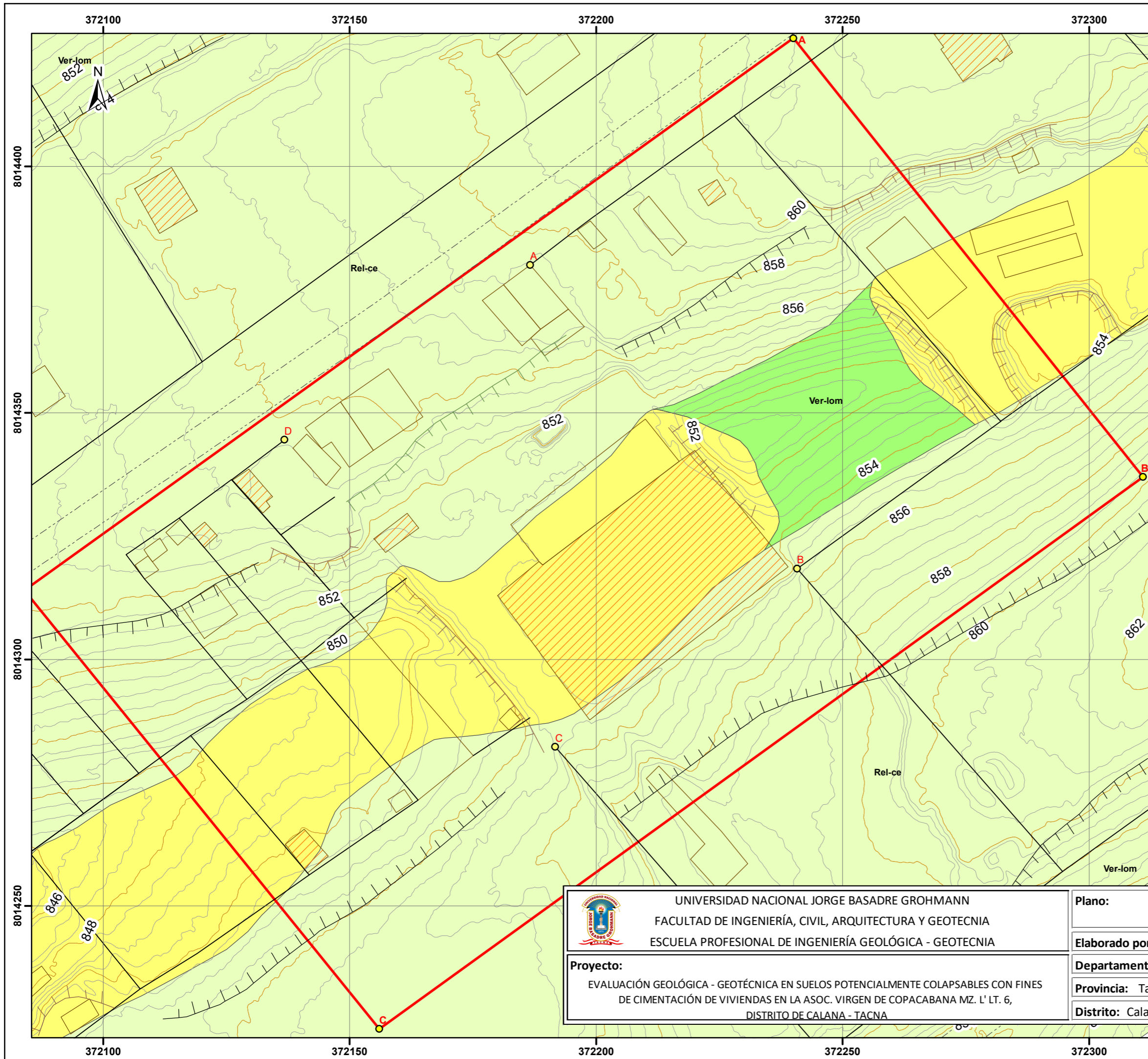


 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	Plano: MAPA DE PENDIENTES	
	Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo	Escala: 1 / 750
Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	Departamento: Tacna	Fecha: Julio 2025
	Provincia: Tacna	N°: MP-01
	Distrito: Calana	

Mapa geomorfológico regional



Mapa geomorfológico local



LEYENDA

Infraestructura y Topografía

- Vértices del área de estudio
- Cercos perimétricos
- Curva mayor
- Curva menor
- - - Trocha carrozable
- Área de estudio
- Perímetro de estructuras incompletas y agropecuarias
- ▨ Estructuras construidas

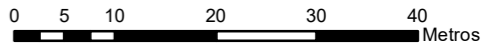
Simbología Geomorfológica


- TTT Ladera de lomada
- TTT Talud de relleno
- TTT Talud de corte

Unidades Geomorfológicas

- Lomada
- Cauce natural
- Cauce modificado

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314




UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

Proyecto:
 EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA

Plano: **MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL**

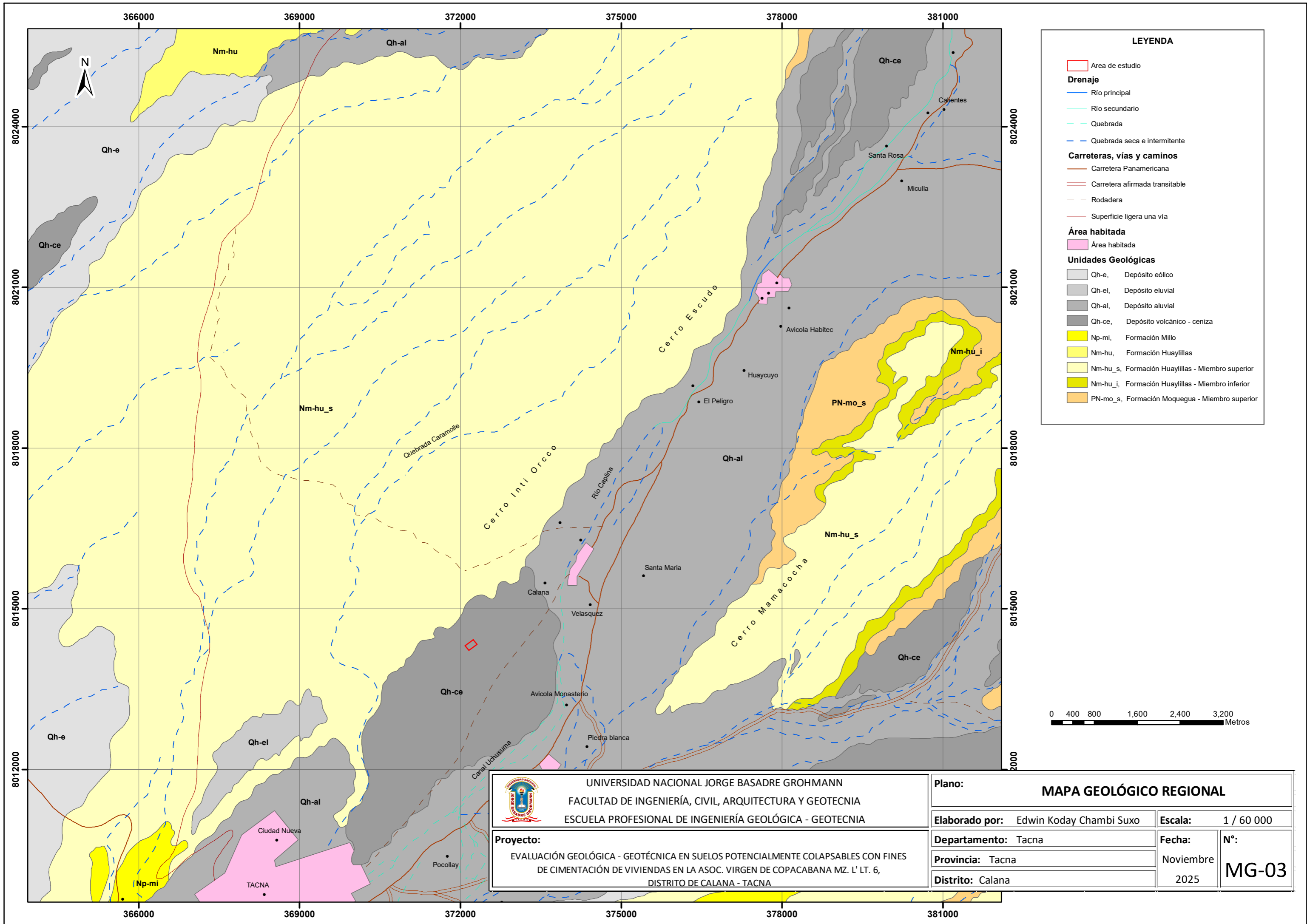
Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo **Escala:** 1 / 750

Departamento: Tacna **Fecha:** Noviembre 2025 **N°:** MG-02

Provincia: Tacna

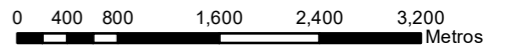
Distrito: Calana

Mapa geológico regional



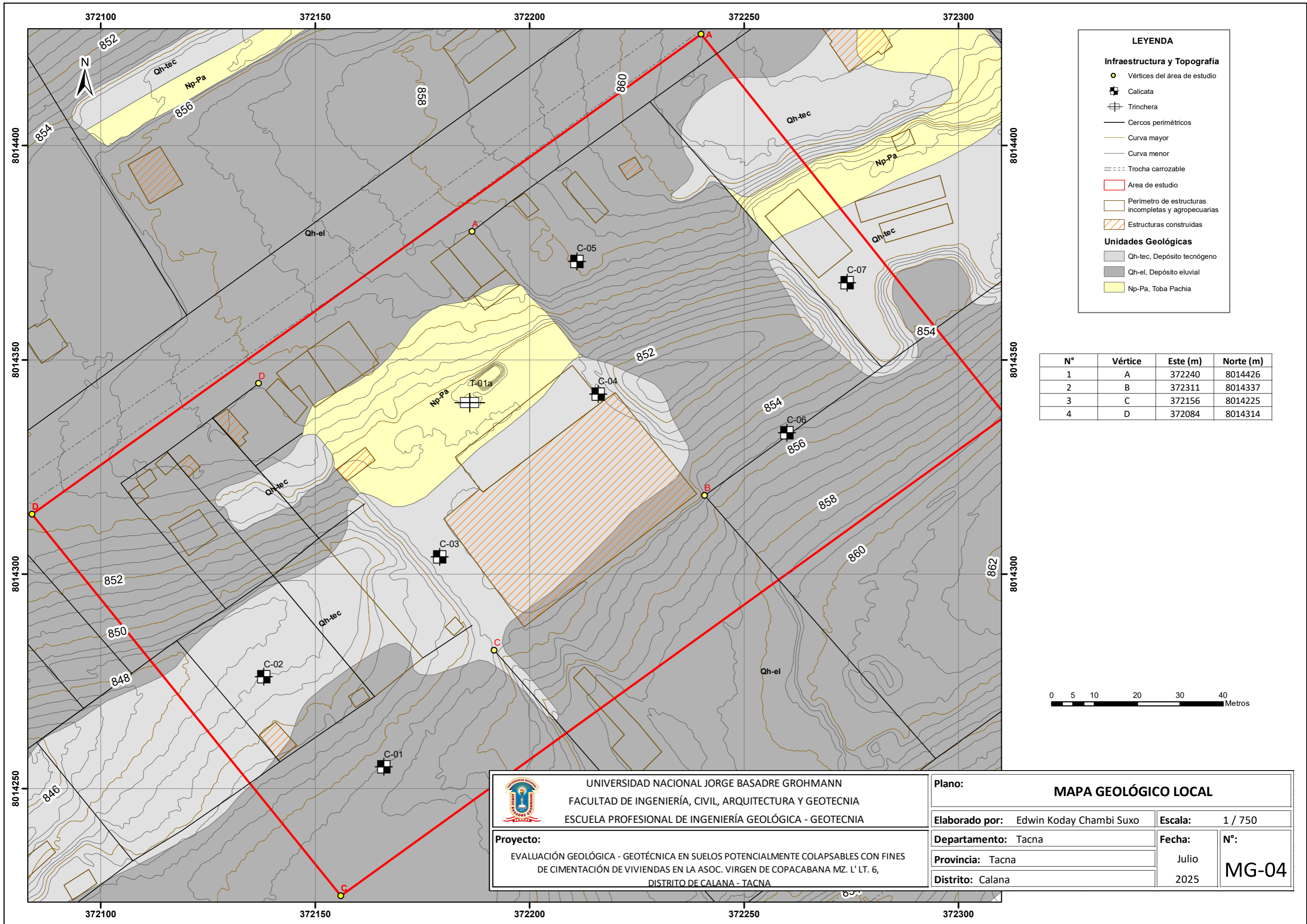
LEYENDA

Área de estudio
Drenaje
— Río principal
— Río secundario
- - - Quebrada
- - - Quebrada seca e intermitente
Carreteras, vías y caminos
— Carretera Panamericana
- - - Carretera afirmada transitable
- - - Rodadera
— Superficie ligera una vía
Área habitada
 Área habitada
Unidades Geológicas
 Qh-e, Depósito eólico
 Qh-el, Depósito eluvial
 Qh-al, Depósito aluvial
 Qh-ce, Depósito volcánico - ceniza
 Np-mi, Formación Millo
 Nm-hu, Formación Huaylillas
 Nm-hu_s, Formación Huaylillas - Miembro superior
 Nm-hu_i, Formación Huaylillas - Miembro inferior
 PN-mo_s, Formación Moquegua - Miembro superior



 UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA	Plano: MAPA GEOLÓGICO REGIONAL	
	Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo	Escala: 1 / 60 000
	Departamento: Tacna	Fecha: Noviembre 2025
	Provincia: Tacna	N°: MG-03
Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA		Distrito: Calana

Mapa geológico local



LEYENDA

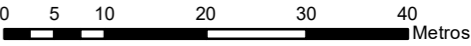
Infraestructura y Topografía


- Vértices del área de estudio
- ⊠ Calicata
- ⊠ Trinchera
- Cercos perimétricos
- Curva mayor
- Curva menor
- - - Trocha carrozable
- ▭ Área de estudio
- ▭ Perímetro de estructuras incompletas y agropecuarias
- ▨ Estructuras construidas

Unidades Geológicas

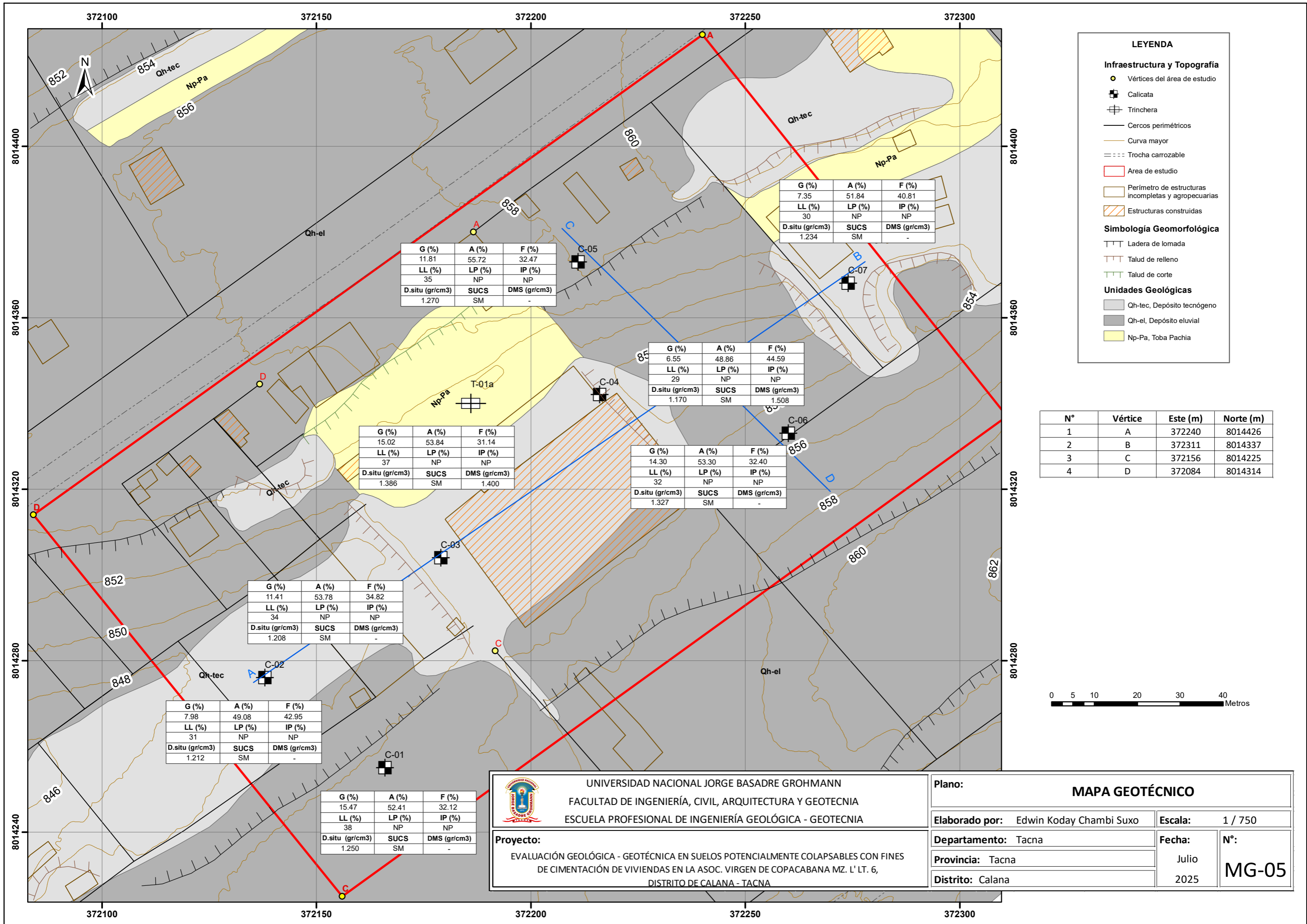
- Qh-tec, Depósito tecnógeno
- Qh-el, Depósito eluvial
- Np-Pa, Toba Pachia

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	<p>Plano: MAPA GEOLÓGICO LOCAL</p>	
	<p>Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo</p>	<p>Escala: 1 / 750</p>
<p>Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA</p>	<p>Departamento: Tacna</p>	<p>Fecha: Julio 2025</p>
	<p>Provincia: Tacna</p>	<p>N°: MG-04</p>
	<p>Distrito: Calana</p>	

Mapa geotécnico



LEYENDA

Infraestructura y Topografía

- Vértices del área de estudio
- ⊠ Calicata
- ⊞ Trinchera
- Cercos perimétricos
- Curva mayor
- - - Trocha carrozable
- ▭ Área de estudio
- ▭ Perímetro de estructuras incompletas y agropecuarias
- ▨ Estructuras construidas

Simbología Geomorfológica

- TTT Ladera de lomada
- TTT Talud de relleno
- TTT Talud de corte

Unidades Geológicas

- Qh-tec, Depósito tecnógeno
- Qh-el, Depósito eluvial
- Np-Pa, Toba Pachia

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314

G (%)	A (%)	F (%)
11.81	55.72	32.47
LL (%)	LP (%)	IP (%)
35	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.270	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
7.35	51.84	40.81
LL (%)	LP (%)	IP (%)
30	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.234	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
6.55	48.86	44.59
LL (%)	LP (%)	IP (%)
29	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.170	SM	1.508

G (%)	A (%)	F (%)
15.02	53.84	31.14
LL (%)	LP (%)	IP (%)
37	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.386	SM	1.400

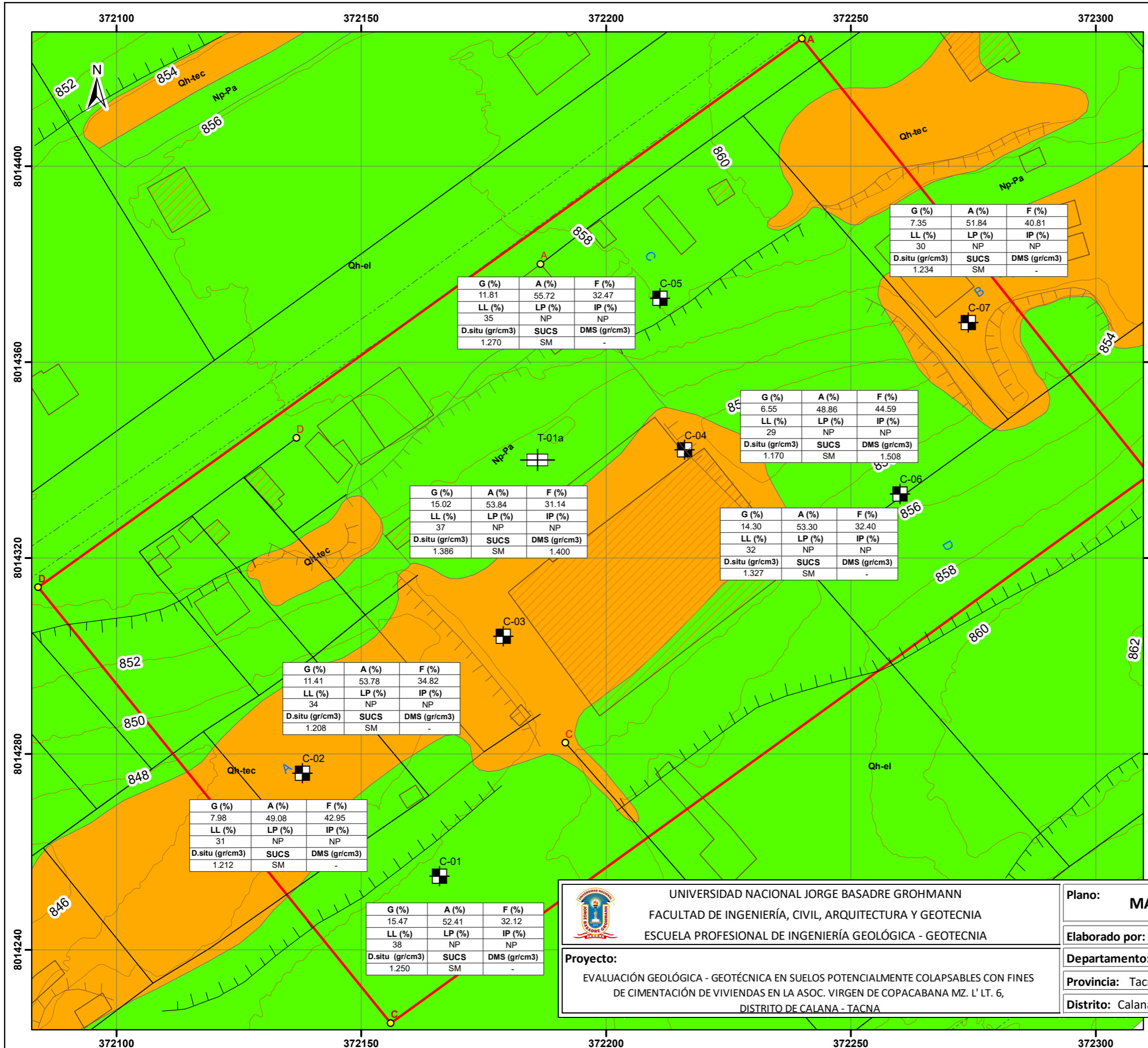
G (%)	A (%)	F (%)
14.30	53.30	32.40
LL (%)	LP (%)	IP (%)
32	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.327	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
11.41	53.78	34.82
LL (%)	LP (%)	IP (%)
34	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.208	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
7.98	49.08	42.95
LL (%)	LP (%)	IP (%)
31	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.212	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
15.47	52.41	32.12
LL (%)	LP (%)	IP (%)
38	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.250	SM	-

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	<p>Plano: MAPA GEOTÉCNICO</p>	
	<p>Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo</p>	<p>Escala: 1 / 750</p>
<p>Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA</p>	<p>Departamento: Tacna</p>	<p>Fecha: Julio 2025</p>
	<p>Provincia: Tacna</p>	<p>N°: MG-05</p>
	<p>Distrito: Calana</p>	



LEYENDA

Infraestructura y Topografía

- Vértices del área de estudio
- ⊠ Calicata
- ⊞ Trinchera
- Cercos perimétricos
- Curva mayor
- - - Trocha carrozable
- ▭ Área de estudio
- ▭ Perímetro de estructuras incompletas y agropecuarias
- ▨ Estructuras construidas

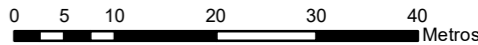
Simbología Geomorfológica


- TTT Ladera de lomada
- TTT Talud de relleno
- TTT Talud de corte

Aptitud Geotécnica del Terreno

- Apto (Con cobertura de suelo 0 a 40 cm)
- Condicionado (Relleno)

N°	Vértice	Este (m)	Norte (m)
1	A	372240	8014426
2	B	372311	8014337
3	C	372156	8014225
4	D	372084	8014314




UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
 FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA

Proyecto:
 EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA

Plano: **MAPA DE APTITUD GEOTÉCNICA DEL TERRENO**

Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo **Escala:** 1 / 750

Departamento: Tacna **Fecha:** Noviembre 2025

Provincia: Tacna **N°:** **MG-06**

Distrito: Calana

G (%)	A (%)	F (%)
11.81	55.72	32.47
LL (%)	LP (%)	IP (%)
35	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.270	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
7.35	51.84	40.81
LL (%)	LP (%)	IP (%)
30	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.234	SM	-

G (%)	A (%)	F (%)
6.55	48.86	44.59
LL (%)	LP (%)	IP (%)
29	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.170	SM	1.508

G (%)	A (%)	F (%)
14.30	53.30	32.40
LL (%)	LP (%)	IP (%)
32	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.327	SM	-

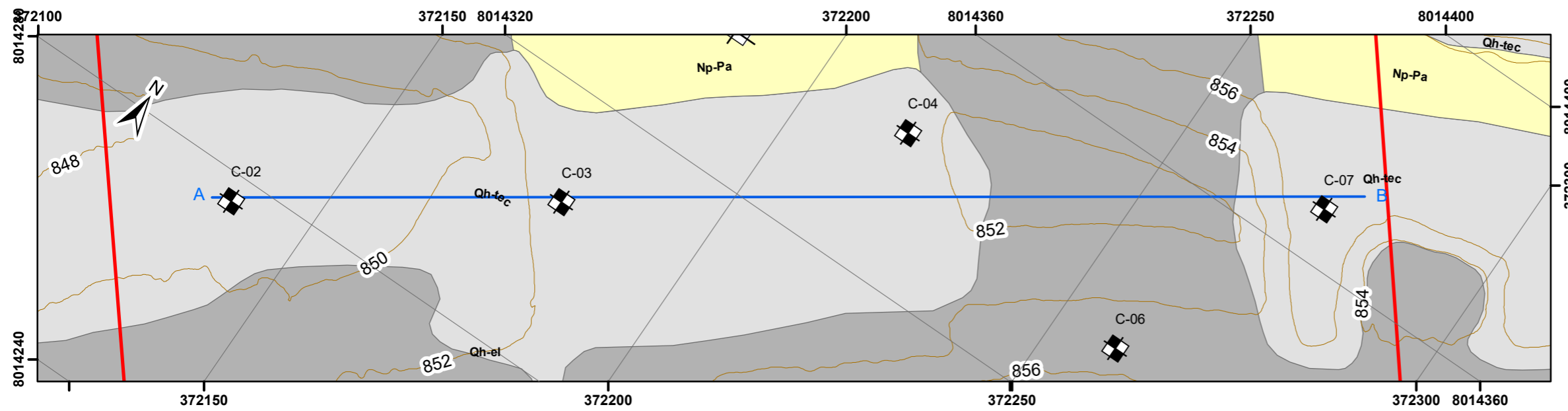
G (%)	A (%)	F (%)
15.02	53.84	31.14
LL (%)	LP (%)	IP (%)
37	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.386	SM	1.400

G (%)	A (%)	F (%)
11.41	53.78	34.82
LL (%)	LP (%)	IP (%)
34	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.208	SM	-

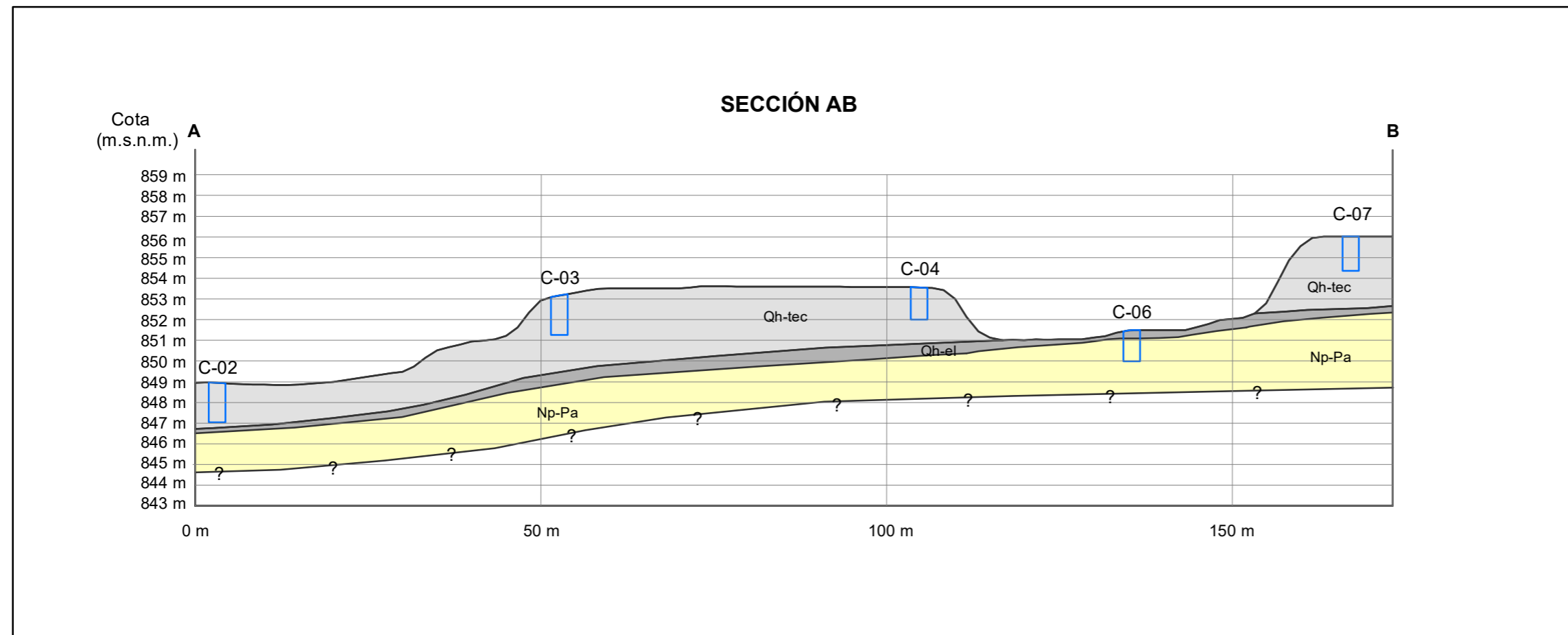
G (%)	A (%)	F (%)
7.98	49.08	42.95
LL (%)	LP (%)	IP (%)
31	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.212	SM	-


G (%)	A (%)	F (%)
15.47	52.41	32.12
LL (%)	LP (%)	IP (%)
38	NP	NP
D.situ (gr/cm3)	SUCS	DMS (gr/cm3)
1.250	SM	-

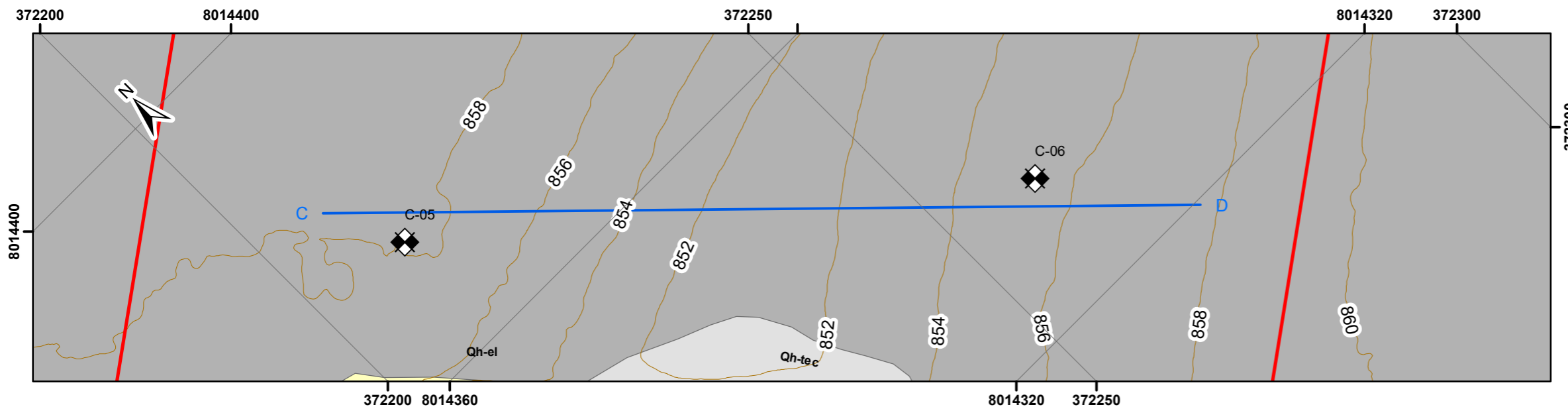
Secciones geológicas
(AB Y CD)



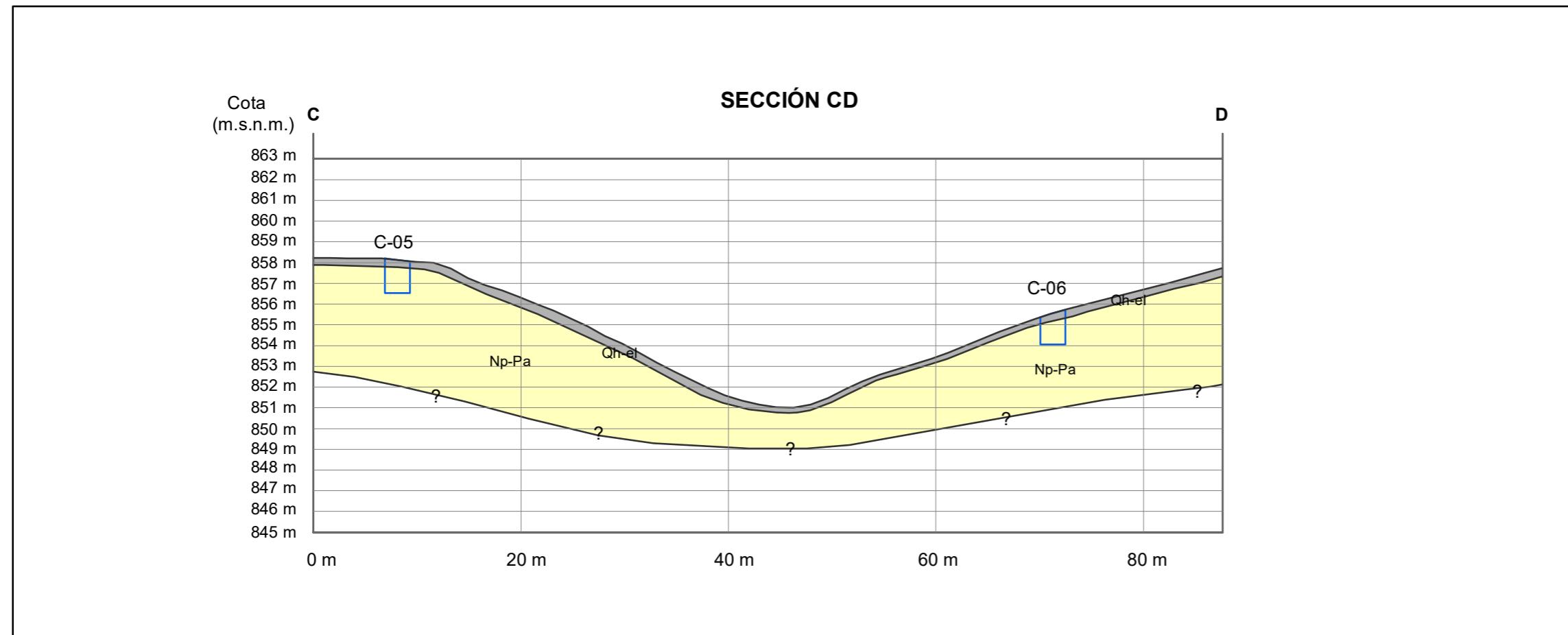
LEYENDA	
Infraestructura y Topografía	
	Vértices del área de estudio
	Calicata
	Trinchera
	Cercos perimétricos
	Curva mayor
	Trocha carrozable
	Área de estudio
Unidades Geológicas	
	Qh-tec, Depósito tecnógeno
	Qh-el, Depósito eluvial
	Np-Pa, Toba Pachia



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	Plano: SECCIÓN GEOLÓGICA AB	
	Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo	Escala: 1 / 750
Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	Departamento: Tacna	Fecha: Noviembre 2025
	Provincia: Tacna	N°: SG-01
	Distrito: Calana	



LEYENDA	
Infraestructura y Topografía	
	Vértices del área de estudio
	Calicata
	Trinchera
	Cercos perimétricos
	Curva mayor
	Trocha carrozable
	Area de estudio
Unidades Geológicas	
	Qh-tec, Depósito tecnógeno
	Qh-el, Depósito eluvial
	Np-Pa, Toba Pachia



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERÍA, CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA</p>	Plano: SECCIÓN GEOLÓGICA CD	
	Elaborado por: Edwin Koday Chambi Suxo	Escala: 1 / 500
Proyecto: EVALUACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA EN SUELOS POTENCIALMENTE COLAPSABLES CON FINES DE CIMENTACIÓN DE VIVIENDAS EN LA ASOC. VIRGEN DE COPACABANA MZ. L' LT. 6, DISTRITO DE CALANA - TACNA	Departamento: Tacna	Fecha: Noviembre 2025
	Provincia: Tacna	N°: SG-02
	Distrito: Calana	