



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA**

### **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



### **EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AVENIDA COSTANERA SUR DE LA CIUDAD DE PUNO, PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE PUNO**

#### **TESIS**

#### **PRESENTADA POR:**

**BACH. DIONILDA ERICA QUISPE APAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA AVENIDA C OSPANERA SUR DE LA CIUDAD DE PUNO , PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE PUNO**

AUTOR

**DIONILDA ERICA QUISPE APAZA**

RECUENTO DE PALABRAS

**56942 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**265703 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**218 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**6.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Sep 19, 2023 8:56 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Sep 19, 2023 8:59 PM GMT-5**

### ● 10% de similitud general

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

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cros:

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

  
Leonel Palomino Ascencio



  
Dr. Leonel Palomino Ascencio  
Director (a) de la Unidad de Investigación  
EPIG



## DEDICATORIA

*Va dedicado principalmente a Dios a quien le debo todo en la vida, quien es mi guiador y mi mayor fortaleza en mi día a día.*

*A mi querido Padre que desde el cielo fue guiándome en cada paso encaminado en esta vida, que me enseñó a trabajar por mis sueños y quien creyó en mí siempre, y a mi Madre por su amor incondicional, por su apoyo a lo largo de mi vida y por ser un ejemplo de fortaleza para todos. Hoy por hoy son mi mayor inspiración a seguir esforzándome.*

*A mi hermana por estar conmigo en todo momento y por motivarme para conseguir mis sueños; a familiares que siempre estuvieron pendientes en cada logro alcanzado en cada etapa de mi vida.*

*A esa persona especial por estar siempre para mí, por acompañarme durante todo este proceso y por nunca dudar que lo lograría.*

*El camino ha sido duro, y nada de esto sería posible sin ustedes.*

***Dionilda Erica Quispe Apaza***



## AGRADECIMIENTO

*A Dios por ser mi guizador, por acompañarme durante toda mi vida, por ser mi mayor fortaleza y darme las fuerzas para superar cada obstáculo que se me presenta en el transcurso del camino, y por mostrarme que la vida está llena de aprendizajes.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Mi alma mater por haberme permitido formar parte de esta casa de estudio durante 5 años de mi formación académica profesional, llevándome grandes experiencias y alegrías maravillosas.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica y a nuestros docentes, por brindarme sus conocimientos y experiencia, quienes me forjaron para culminar mis estudios y me orientaron para mi formación profesional.*

*Agradecer de manera especial a mi Asesor M.Sc. LEONEL PALOMINO ASCENCIO y a los JURADOS de esta Tesis, por haberme apoyado y guiado durante el desarrollo de este proyecto, en base a sus experiencias y sabidurías.*

*A la empresa INGEOPLESCA CONSULTORA & CONSTRUCTORA E.I.R.L., por su apoyo y facilidades para realizar mis ensayos; y al Ingeniero Julio Escobedo Arizaca (Jefe especialista de laboratorio), por brindarme sus conocimientos y experiencias.*

*A mis padres y hermana, quienes son un gran ejemplo de perseverancia y superación, quienes supieron aconsejarme y motivarme en los momentos más difíciles de mi vida, quienes me brindaron la oportunidad de tener una carrera profesional, para así, poder lograr cumplir mis anhelos y ser una persona de bien.*

***Dionilda Erica Quispe Apaza***



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 18**

**ABSTRACT..... 19**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 20**

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 21**

1.2.1. Problema general ..... 21

1.2.2. Problemas específicos..... 21

**1.3. JUSTIFICACIÓN ..... 21**

**1.4. HIPÓTESIS ..... 22**

1.4.1. Hipótesis general..... 22

1.4.2. Hipótesis específicos..... 22

**1.5. OBJETIVO ..... 22**

1.5.1. Objetivo general..... 22

1.5.2. Objetivos específicos ..... 23



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1.</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>24</b>
2.1.1.	Antecedentes locales .....	24
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	28
2.1.3.	Antecedentes internacionales.....	30
<b>2.2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>32</b>
2.2.1.	Origen y formación de suelos .....	32
2.2.2.	Origen de los depósitos del suelo .....	34
2.2.2.1.	Suelos residuales .....	36
2.2.2.2.	Suelo transportado por gravedad.....	36
2.2.2.3.	Depósitos aluviales.....	37
2.2.2.4.	Depósitos lacustres .....	38
2.2.2.5.	Depósitos glaciares.....	38
2.2.2.6.	Depósitos eólicos de suelos.....	39
2.2.2.7.	Suelo orgánico.....	39
2.2.3.	Composición y partes del suelo .....	39
2.2.3.1.	Minerales o componente inorgánico .....	39
2.2.3.2.	Componente orgánico (materia orgánica).....	40
2.2.3.3.	El agua.....	40
2.2.3.4.	El aire (los gases) .....	40
2.2.4.	Tipos de suelos.....	41
2.2.4.1.	Suelos gravosos (grava) .....	41
2.2.4.2.	Suelos arenosos (arena).....	41
2.2.4.3.	Suelos limosos (limo).....	42



2.2.4.4.	Suelos arcillosos (arcilla) .....	42
2.2.4.5.	Suelos orgánicos.....	42
<b>2.3.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO .....</b>	<b>44</b>
2.3.1.	Geotecnia .....	44
2.3.2.	Estudio Geotécnico .....	44
2.3.3.	Estudio de Mecánica de suelos .....	45
2.3.4.	Ensayos de laboratorio.....	45
2.3.4.1.	Contenido de Humedad Natural.....	46
2.3.4.2.	Análisis Granulométrico por Tamizado .....	46
2.3.4.3.	Límites de Consistencia .....	48
2.3.4.4.	Proctor Modificado .....	52
2.3.4.5.	Relación de Soporte de California “CBR” .....	54
<b>2.4.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....</b>	<b>56</b>
2.4.1.	Clasificación de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) .....	57
2.4.1.1.	Descripción de los Grupos de Clasificación AASHTO .....	57
2.4.2.	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	60
<b>2.5.</b>	<b>MEJORAMIENTO DE SUELOS .....</b>	<b>63</b>
<b>2.6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE CANTERAS.....</b>	<b>64</b>
2.6.1.	Pedraplén .....	64
2.6.2.	Subrasante.....	65
2.6.3.	Sub base granular.....	66
2.6.4.	Base granular .....	66
<b>2.7.</b>	<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>66</b>



## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

<b>3.1.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>69</b>
<b>3.2.</b>	<b>TRATAMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS.....</b>	<b>69</b>
3.2.1.	Tipo de investigación.....	69
3.2.2.	Diseño de investigación .....	69
3.2.3.	Definición de variables .....	70
3.2.4.	Población, muestra y análisis.....	70
3.2.4.1.	Población.....	70
3.2.4.2.	Muestra.....	71
<b>3.3.</b>	<b>PROCESO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.</b>	<b>TÉCNICAS Y ESTAPAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>72</b>
3.4.1.	I ETAPA: Recolección de Fuentes de Información.....	72
3.4.2.	II ETAPA: Trabajo de campo .....	73
3.4.2.1.	Exploración de campo.....	73
3.4.2.2.	Excavación de calicatas.....	73
3.4.2.3.	Toma de muestras en excavación de calicatas .....	74
3.4.3.	III ETAPA: Ensayo de laboratorio .....	75
3.4.3.1.	Ensayos estándar .....	76
3.4.3.2.	Ensayos especiales .....	82
3.4.4.	IV ETAPA: Trabajo de gabinete .....	85
<b>3.5.</b>	<b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>85</b>

## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO



<b>4.1.</b>	<b>GENERALIDADES</b> .....	<b>87</b>
<b>4.2.</b>	<b>UBICACIÓN</b> .....	<b>87</b>
4.2.1.	Ubicación política y geográfica .....	87
4.2.2.	Accesibilidad .....	89
<b>4.3.</b>	<b>ASPECTO METEOROLÓGICO</b> .....	<b>89</b>
4.3.1.	Clima.....	89
4.3.2.	Temperaturas medias anuales .....	90
4.3.3.	Precipitación .....	90
4.3.4.	Humedad relativa.....	91
<b>4.4.</b>	<b>HIDROGRAFÍA DEL LAGO TITICACA</b> .....	<b>91</b>
4.4.1.	Nivel hídrico del Lago Titicaca .....	92
<b>4.5.</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>93</b>
4.5.1.	Unidades litoestratigraficas.....	93
4.5.1.1.	Formacion Ayabacas (Kis-ay).....	94
4.5.1.2.	Formación Muñani (P-mu).....	94
4.5.1.3.	Grupo Puno (P-pu) .....	94
4.5.1.4.	Depósitos Cuaternarios .....	94
<b>4.6.</b>	<b>GEOMORFOLOGÍA LOCAL</b> .....	<b>96</b>
4.6.1.	Colina baja .....	97
4.6.2.	Pie de monte.....	97
4.6.3.	Planicie.....	97
4.6.4.	Lago .....	97
4.6.5.	Litoral lacustre y bofedales.....	97
4.6.6.	Antrópico .....	98
<b>4.7.</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL</b> .....	<b>98</b>



**4.8. GEOLOGÍA DE LUGAR ..... 99**

**CAPÍTULO V**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**5.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL TERRENO..... 100**

5.1.1. Trabajo de campo..... 100

5.1.1.1. Exploración de campo..... 100

5.1.1.2. Ejecución de calicatas ..... 101

5.1.1.3. Descripción visual y muestreo ..... 103

5.1.2. Ensayo de laboratorio ..... 106

5.1.2.1. Ensayos estándar ..... 106

5.1.2.2. Ensayos especiales ..... 117

**5.2. ELABORACIÓN DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS..... 124**

**5.3. EVALUACIÓN DE CANTERAS..... 131**

5.3.1. Características geotécnicas de Canteras ..... 131

5.3.1.1. Cantera de roca..... 131

5.3.1.2. Canteras para la base y sub base ..... 132

5.3.2. Mezcla de Canteras ..... 134

**5.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS ..... 135**

5.4.1. Propiedades Físicas..... 136

5.4.1.1. Contenido de humedad..... 136

5.4.1.2. Análisis granulométrico ..... 137

5.4.1.3. Límites de consistencia ..... 138

5.4.1.4. Clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO ..... 140

5.4.2. Propiedades Mecánicas..... 142

5.4.2.1. Proctor Modificado ..... 142



5.4.2.2. CBR (California Bearing Ratio).....	143
<b>VI. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>148</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>150</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>155</b>

Área:

Tema:

Fecha de Sustentación: 28/09/2023



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Tamices de malla cuadrada .....	47
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de suelos según Tamaño de partículas .....	47
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.....	52
<b>Tabla 4:</b> Factores para la compactación en el CBR.....	55
<b>TABLA 5:</b> Valores del Sub rasante .....	55
<b>TABLA 6:</b> Clasificación de materiales granulares - AASHTO.....	59
<b>TABLA 7:</b> Clasificación de materiales finos - AASHTO .....	60
<b>TABLA 8:</b> Símbolo de tipo suelos - SUCS .....	61
<b>TABLA 9:</b> Clasificación de suelos - SUCS .....	62
<b>TABLA 10:</b> Correlación de Tipos de suelos AASHTO - SUCS .....	63
<b>TABLA 11:</b> Operacionalización de variables .....	70
<b>TABLA 12:</b> Ensayos de laboratorio bajo normas internacionales y nacionales.....	75
<b>TABLA 13:</b> Identificación de suelos del sistema .....	79
<b>TABLA 14:</b> Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Limo-Arcilloso).....	81
<b>TABLA 15:</b> Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Granular) .....	81
<b>TABLA 16:</b> Ubicación Política del área de estudio.....	87
<b>TABLA 17:</b> Ubicación Geográfica del área de estudio .....	88
<b>TABLA 18:</b> Coordenadas de ubicación del área de estudio (inicio-final).....	88
<b>TABLA 19:</b> Accesibilidad al área de estudio .....	89
<b>TABLA 20:</b> Columna estratigráfica local .....	96
<b>TABLA 21:</b> Ubicación y profundidades de calicatas .....	102
<b>TABLA 22:</b> Normas de ensayos estándar .....	106
<b>TABLA 23:</b> Resultados del contenido de humedad.....	107
<b>TABLA 24:</b> Resultados del análisis granulométrico por tamizado .....	109



<b>TABLA 25:</b> Resultados de límites de consistencia.....	112
<b>TABLA 26:</b> Resultados de clasificación de suelos por el método SUCS Y AASHTO .....	114
<b>TABLA 27:</b> Normas de ensayos especiales .....	117
<b>TABLA 28:</b> Resultado del ensayo Proctor modificado .....	118
<b>TABLA 29:</b> Resultados del ensayo de CBR .....	119
<b>TABLA 30:</b> Resumen y resultados de los ensayos estándar.....	121
<b>TABLA 32:</b> Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular .....	135
<b>TABLA 31:</b> Requerimientos Granulométricos para sub base granular y base granular. .....	135
<b>TABLA 33:</b> Promedio de la humedad natural del área de estudio .....	136
<b>TABLA 34:</b> Promedio de granulometría en el área de estudio.....	137
<b>TABLA 35:</b> Clasificación de suelos según su índice de plasticidad.....	139
<b>TABLA 36:</b> Características de límites de consistencia.....	139
<b>TABLA 37:</b> Correlación de Tipo de suelos AASHTO - SUCS.....	140
<b>TABLA 38:</b> Estimación de suelos según la clasificación de AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282 .....	141
<b>TABLA 39:</b> Determinación de las condiciones del Proctor modificado .....	142
<b>TABLA 40:</b> Categorías de la sub rasante.....	144
<b>TABLA 41:</b> Determinación de las condiciones de área de estudio bajo el ensayo del CBR .....	144
<b>TABLA 42:</b> Resumen de las condiciones geotécnicas de las primeras 6 calicatas .....	146
<b>TABLA 43:</b> Resumen de las condiciones geotécnicas de las últimas 6 calicatas.....	147



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Horizontes del suelo. Fuente: Maldonado, 2020. ....	34
<b>FIGURA 2:</b> Esquema de transporte y sedimentación de partículas. Fuente: Augusto, s.f. .....	35
<b>FIGURA 3:</b> Formación de los suelos. Fuente: Maldonado, 2020. ....	36
<b>FIGURA 4:</b> Formación de depósitos de bancos de arena en una corriente meándrica. Fuente: M. Das, 2013. ....	37
<b>FIGURA 5:</b> Componentes y partes de un suelo. Fuente: Rosas, 2012. ....	41
<b>FIGURA 6:</b> Tipos de suelos según a sus características físicas, químicas y mecánicas. Fuente: Rosas, 2012. ....	43
<b>FIGURA 7:</b> Expansividad y retracción del suelo arcilloso. Fuente: Maldonado, 2020.	43
<b>FIGURA 8:</b> Gráfico de Análisis granulométrico. Fuente: Gallardo, 2015. ....	48
<b>FIGURA 9:</b> Límites de Atterberg: Fuente: Maldonado, 2020. ....	49
<b>FIGURA 10:</b> Interpretación de La Carta de Plasticidad. Fuente: Gutiérrez, 2019. ....	51
<b>FIGURA 11:</b> Curva de compactación. Fuente: Maldonado, 2020. ....	54
<b>FIGURA 12:</b> Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación AASHTO. Fuente: AASHTO, 1991. ....	57
<b>FIGURA 13:</b> Proceso del proyecto de investigación. ....	71
<b>FIGURA 14:</b> Procedimiento para realizar una calicata y su muestreo ....	74
<b>FIGURA 15:</b> Ensayo estándar ....	76
<b>FIGURA 16:</b> Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad ....	76
<b>FIGURA 17:</b> Procedimiento para el ensayo análisis granulométrico. ....	77
<b>FIGURA 18:</b> Proceso para el ensayo de límites de consistencia. ....	78
<b>FIGURA 19:</b> Ensayo de límites de consistencia. ....	79
<b>FIGURA 20:</b> Simbología de suelos – SUCS. Fuente: Felizgeo, 2019. ....	80



<b>FIGURA 21:</b> Ensayos especiales .....	82
<b>FIGURA 22:</b> Procedimiento para el ensayo del Proctor modificado .....	83
<b>FIGURA 23:</b> Proceso para el ensayo California Bearing Ratio CBR .....	84
<b>FIGURA 24:</b> Ubicación política del área de estudio .....	88
<b>FIGURA 25:</b> Ámbito definido del área de estudio. Fuente: Adaptación de la Municipalidad Provincial de Puno, 2019. ....	89
<b>FIGURA 26:</b> Promedio de temperatura. Fuente: SENAMHI, 2022. ....	90
<b>FIGURA 27:</b> Promedios de datos climatológicos. Fuente: SENAMHI, 2021. ....	91
<b>FIGURA 28:</b> Comportamiento de niveles del Lago Titicaca 1920 – 2010. Fuente: Instituto de Mar del Perú-Laboratorio Continental Puno, 2012. ....	92
<b>FIGURA 29:</b> Niveles medios del Lago Titicaca. Fuente: SENAMHI; 2023. ....	93
<b>FIGURA 30:</b> Distribución y ubicación de calicatas en la Avenida Costanera Sur. ....	101
<b>FIGURA 31:</b> Corte transversal de la calicata 05 .....	104
<b>FIGURA 32:</b> Corte transversal de la calicata 08 .....	104
<b>FIGURA 33:</b> Corte transversal de la calicata 10 .....	105
<b>FIGURA 34:</b> Gráfico del promedio granulométrico por calicata .....	110
<b>FIGURA 35:</b> Gráfico del promedio granulométrico de estratos superiores .....	110
<b>FIGURA 36:</b> Gráfico del promedio granulométrico de estratos inferiores .....	111
<b>FIGURA 37:</b> Gráfico de índice de consistencia de los estratos inferiores .....	113
<b>FIGURA 38:</b> Distribución del tipo de suelo según la clasificación SUCS y AASHTO - estratos superiores .....	115
<b>FIGURA 39:</b> Distribución del tipo de suelo según la clasificación SUCS y AASHTO - estratos inferiores .....	116
<b>FIGURA 40:</b> Gráfico de comparación del contenido de humedad natural y humedad óptima. ....	118



<b>FIGURA 41:</b> Gráfico de CBR a un 95% y 100% .....	120
<b>FIGURA 42:</b> Gráfico de expansión de suelo .....	120
<b>FIGURA 43:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 01 .....	125
<b>FIGURA 44:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 02 .....	125
<b>FIGURA 45:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 03 .....	126
<b>FIGURA 46:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 04 .....	126
<b>FIGURA 47:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 05 .....	127
<b>FIGURA 48:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 06 .....	127
<b>FIGURA 49:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 07 .....	128
<b>FIGURA 50:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 08 .....	128
<b>FIGURA 51:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 09 .....	129
<b>FIGURA 52:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 10 .....	129
<b>FIGURA 53:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 11 .....	130
<b>FIGURA 54:</b> Perfil estratigráfico de la calicata 12 .....	130
<b>FIGURA 55:</b> Gráfico del promedio granulométrico en el área de estudio.....	138
<b>FIGURA 56:</b> Gráfico del índice de plasticidad del área de estudio .....	140
<b>FIGURA 57:</b> Gráfico de estimación de suelos según la clasificación AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282.....	141
<b>FIGURA 58:</b> Condiciones de la humedad óptima en el área de estudio .....	143
<b>FIGURA 59:</b> Gráfico de la condición geotécnica del área de estudio.....	145



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>AASHTO</b>	: American Association State Highway and Transportation Officials, Asociación de autoridades estatales de tránsito y carreteras.
<b>ASTM</b>	: American Standards and Testing Materials, Sociedad Americana de Prueba de Materiales
<b>C</b>	: Calicata
<b>CBR</b>	: California Bearing Ratio o “Relación de Soporte de California”
<b>cm<sup>3</sup></b>	: Centímetro cúbico
<b>gr</b>	: gramo
<b>I.P.</b>	: Índice de plasticidad
<b>Km</b>	: Kilómetro
<b>L.L.</b>	: Limite líquido
<b>L.L.</b>	: Limite plástico
<b>m</b>	: Metro
<b>M</b>	: Muestra
<b>M.D.S.</b>	: Máxima densidad seca
<b>m.s.n.m.</b>	: Metros sobre el nivel del mar
<b>MTC</b>	: Ministerio de Transporte y Comunicaciones
<b>NTP</b>	: Normas Técnicas Peruanas
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
<b>SUCS</b>	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
<b>UNAP</b>	: Universidad Nacional del Altiplano
<b>UTM</b>	: Sistemas de coordenadas Universal Transversal de Mercator



**WGS 84** : Sistema geodésico mundial 1984

**%** : Porcentaje

**°C** : Grados Centígrados



## RESUMEN

El presente proyecto de investigación, se encuentra ubicado en la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno, cuyo propósito fue realizar una evaluación geotécnica para un proyecto de construcción vial mediante la determinación de sus características geotécnicas del terreno de fundación y canteras. La metodología aplicada en el estudio es de tipo descriptivo y analítico, realizados mediante la recopilación de datos y resultados de forma cualitativa y cuantitativa, para su posterior análisis e interpretación. El área de estudio comprende un trazo de 2+750km, en el cual se realizó 12 calicatas con profundidades de 1.40m a 3.60m, estableciendo su nivel freático de 1.30m a 2.50m. Se determinó que el terreno de fundación no es favorable, ya que encontramos limos de baja a alta plasticidad (MH), con capacidad de soporte CBR al 95% de MDS promedio de 5.2% la cual corresponde a la categoría de subrasante insuficientes (S1,  $CBR \geq 3\%$  a  $CBR < 6\%$ ), y una expansividad superior al 100%. Frente a estos problemas de suelos inestables, se evaluó tres canteras para proponer su uso para el mejoramiento del terreno de fundación durante la construcción de la vía, llegándose a evaluar para el relleno pétreo la cantera San Luis de Alva, cantera que se caracteriza por presentar roca volcánica las cuales cumplen con las especificaciones exigidas en el desgaste de abrasión con un 27.13%; y para la conformación de la subbase y base, se mezclara dos canteras, cantera ligante Jayllihuaya en un 60% cuyo material es una grava arcillosa, y cantera Cutimbo en un 40% de grava de rio donde no presenta plasticidad, las cuales cumple con la especificación de la gradación A exigida por el manual de carreteras; garantizando de esta manera la estabilidad del terreno de fundación para la construcción de la Avenida Costanera Sur.

**Palabras clave:** Características geotécnicas, Expansividad, Plasticidad, Terreno de fundación, Subrasante.



## ABSTRACT

The present research project is located on Avenida Costanera Sur in the city of Puno, whose purpose was to carry out a geotechnical evaluation for a road construction project by determining its geotechnical characteristics of the foundation land and quarries. The methodology applied in the study is descriptive and analytical, carried out by collecting data and results qualitatively and quantitatively, for subsequent analysis and interpretation. The study area includes a 2+750km stretch, in which 12 pits were made with depths from 1.40m to 3.60m, establishing its water table from 1.30m to 2.50m. It was determined that the foundation ground is not favorable, since we found silt of low to high plasticity (MH), with CBR support capacity at 95% of average MDS of 5.2% which corresponds to the category of insufficient subgrade (S1,  $CBR \geq 3\%$  to  $CBR < 6\%$ ), and an expansivity greater than 100%. Faced with these problems of unstable soils, three quarries were evaluated to propose their use for the improvement of the foundation land during the construction of the road, leading to the evaluation of the San Luis de Alva quarry for stone filling, a quarry that is characterized by presenting volcanic rock which meets the required specifications in abrasion wear with 27.13%; and for the formation of the subbase and base, two quarries will be mixed, Jayllihuaya binder quarry in 60% whose material is a clayey gravel, and Cutimbo quarry in 40% of river gravel where it does not present plasticity, which complies with the specification of the A grading required by the highway manual; thus guaranteeing the stability of the foundation land for the construction of Avenida Costanera Sur.

**Keywords:** Geotechnical characteristics, expansivity, plasticity, foundation ground, subgrade.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la ciudad de Puno, se encuentra en proceso de ampliación urbano producto del crecimiento poblacional, por tal motivo, surge la necesidad de contar con vías alternas para transporte urbano y mejorar la integración de sus vías con la finalidad de contar una buena transitabilidad peatonal y vehicular, contribuyendo al desarrollo económico, social y cultural de los habitantes. Uno de los problemas en la ciudad de Puno es la falta de vías urbanas alternas que faciliten la descongestión vehicular.

Antes de realizar cualquier tipo de construcción de nuevas vías, uno de los pasos fundamentales es realizar una evaluación geotécnica del suelo, con el objetivo de conocer las características geotécnicas del terreno de fundación. La Avenida Costanera Sur se ubica a riveras del Lago Titicaca, y a razón de ello se tiene como principal problema la inestabilidad del terreno de fundación, esto se debe por la existencia del nivel freático dentro del sub suelo y materiales arcillosos y limosos, condición que genera la inestabilidad del suelo, los cuales se debe de buscar una forma de estabilizar los suelos. Esta inestabilidad surge por los cambios en la saturación de agua y los diferentes tipos de suelos que presenta el terreno de fundación específicamente ubicada en la Bahía Interior de la ciudad de Puno debido a que se encuentra en suelo sedimentario de origen lacustre y aluvial, terrenos expansivos y/o rellenos negativos, generando así fallas como deformaciones, asentamientos, fisuras, grietas, entre otros.

La mala calidad de los suelos que conforman la subrasante de una vía, obliga tener que mejorarlos para evitar futuros problemas principalmente en la transitabilidad vehicular; y frente a ello se tiene la propuesta de la remoción y reemplazo por una capa



de pedraplén y materiales de cantera seleccionado que cumplan con las Normas Peruanas, con la finalidad de poder conformar una subrasante resistente y duradera frente a la acción de las cargas que le transmita el tráfico vehicular.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Las características geotécnicas de los suelos del terreno de fundación serán favorables para la construcción de la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas que presenta el terreno de fundación para la construcción de la Avenida Costanera Sur?
- ¿Cuál será el perfil estratigráfico del terreno de fundación?
- ¿Cuáles son las características geotécnicas de canteras para un mejoramiento del terreno?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En la construcción de nuevas vías, muchas veces no se toman en cuenta la evaluación de un estudio geotécnico de suelos, y en un corto tiempo generalmente presentan fallas en suelos, ya sean por la presencia de niveles freáticos, suelos finos expansivos, entre otros factores. Por tal razón surge uno de los pasos fundamentales realizar una evaluación geotécnica del suelo, con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación, sin embargo, al encontrarnos con suelos inestables en relación a la aplicación de fuerzas surge la evaluación de canteras para el mejoramiento del terreno evitando así, deformaciones y fallas.



Con el presente estudio geotécnico, se tiene una idea clara del comportamiento del terreno de fundación, de tal manera podremos realizar un adecuado mejoramiento de la subrasante en el proyecto de pavimentación de la ciudad de Puno, así mismo, contribuirá una mejor calidad de vida para la población, contando con vías urbanas alternas para el descongestionamiento vehicular que se da en el barrio Chejoña.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. Hipótesis general**

Las características geotécnicas de los suelos del terreno de fundación, no son favorables para la construcción del pavimento de la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno.

### **1.4.2. Hipótesis específicos**

- Las propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación, no son adecuados para la construcción de la Avenida Costanera Sur.
- El perfil estratigráfico del terreno de fundación está constituido por suelos no consolidados de origen lacustres, como gravas, arenas, limos, arcillas y materia orgánica.
- Las características geotécnicas de las canteras cumplen con las especificaciones para realizar un adecuado mejoramiento del terreno.

## **1.5. OBJETIVO**

### **1.5.1. Objetivo general**

Determinar las características geotécnicas de los suelos del terreno de fundación para la construcción de la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno.



### **1.5.2. Objetivos específicos**

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del terreno de fundación para la construcción de la Avenida Costanera Sur a partir de los ensayos de laboratorio.

Elaborar el perfil estratigráfico del terreno de fundación.

Evaluar las características geotécnicas de canteras para un mejoramiento del terreno de fundación.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Antecedentes locales

El Instituto Nacional de Desarrollo INADE a través de proyecto Especial Lago Titicaca, desarrollo el proyecto Malecón Turístico de Puno I Etapa, tal proyecto contempla el desarrollo de área destinadas a residencias, servicios comerciales, administrativos, exposición de artesanías, recreación, etc. Tuvo como objetivo realizar una investigación del subsuelo donde se proyecta construir el Malecón Turístico de Puno, elaborando un programa de trabajo que consiste en recopilación de información, ejecución de 8 sondajes, extracción de muestras de suelo, ensayos de laboratorio, elaboración de los perfiles estratigráficos, análisis de ingeniería y recomendación. El área de estudio se encuentra en la ciudad de Puno, con ámbito definido desde el Puerto Principal de la ciudad de Puno hasta la Universidad, conformando un circuito con las avenidas Floral, Costanera y El Puerto. Teniendo como resultado que los suelos están conformados por suelos arcillosos de constancia blanda y suelos areno-limosos de compacidad suelta a media, por tal motivo es requerido realizar un mejoramiento de terreno de fundación, en el cual realizaron el relleno compuesto por grava y arenas arcillosas compactado en capas de 0.25 a 0.30 metros hasta una altura aproximadamente de 1.40 mts. y referida a los 3811.00 m.s.n.m., conformado por una geomembrana en el talud mojado, para finalmente colocar a mano un enrocado de protección de 30 mts. de diámetro mínimo hasta la superficie de coronación. Donde finalmente realizan el colocado de Geosintéticos (Geomembrana y Geotextil) en toda la cara



húmeda, uniéndola a los geosintéticos para impermeabilizarla completamente. El nivel freático de la zona, se ubica a una profundidad de 0.80 a 1.20m, determinando que los suelos se encuentran en condiciones saturadas con alto contenido de humedad (**UNI-CISMID, 2000**).

En la evaluación geotécnica del terreno de fundación de las cimentaciones superficiales en las construcciones de la Avenida Costanera I y II etapa – Puno, localizado en Avenida Costanera I y II etapa de la ciudad de Puno, del distrito, provincia y departamento de Puno, tuvo como propósito determinar el diseño de cimentación superficial en las construcciones de la Av. Costanera I y II etapa – Puno, considerando la ejecución y exploración de siete calicatas, con la finalidad de realizar ensayos de laboratorio como Contenido de humedad, Análisis granulométrico por tamizado, Límites plástico, Límite líquido, (Atterberg), Peso específico, Clasificación SUCS, Corte Directo y Cálculo de capacidad admisible. Obteniendo resultados finales de la siguientes manera: Muestra 01 arena limosa (SM)  $Q_{adm} = 0.36 \text{ Kg/cm}^2$ , capacidad admisible muy bajo; muestra 02 arcilla de baja plasticidad (CL)  $Q_{adm} = 0.39 \text{ Kg/cm}^2$  capacidad admisible muy bajo; muestra 03 arcilla de alta plasticidad (CH)  $Q_{adm} = 0.88 \text{ Kg/cm}^2$ , capacidad admisible bajo; Muestra 04 arcilla de alta plasticidad (CH)  $Q_{adm} = 0.81 \text{ Kg/cm}^2$ , capacidad admisible bajo; Muestra 05 arena limosa (SM)  $Q_{adm} 0.40 \text{ Kg/cm}^2$  , Muestra 06 arena limosa (SM)  $Q_{adm}=0.46 \text{ Kg/cm}^2$  capacidad admisible bajo (ML)  $Q_{adm}$  es  $0.73 \text{ Kg/cm}^2$  capacidad admisible bajo. Determinando que el terreno de fundación es desfavorable para tales cimentaciones (**Condori, 2012**).

En la evaluación geológica y geotécnica de la carretera del circuito turístico Lago Sagrado de los Incas, tramo km. 00+000 al km. 10+000 Ccota-Charcas-Puno, localizado en los distritos de Chucuito, Platería y Acora, tuvo como



objetivo principal evaluar las características geológicas- geotécnicas del terreno para la carretera y canteras del circuito turístico Lago Sagrado de los Incas. El estudio se realizó en dos etapas, las cuales involucraron la sistematización de información sobre la construcción de carreteras y el análisis del comportamiento de los suelos para la determinación de las condiciones geotécnicas. De tal manera, se determina que el suelo de fundación, presenta arcillas de baja plasticidad y gravas arcillosos que se prolongan hasta profundidades mayores a 1.20m, con un índice de plasticidad tolerable (20.3% y 7.1%), la capacidad de valor relativo de soporte (CBR) se clasifican de regular a muy buena (11.3% a 58.2 %), determinado que el tramo de la carreta son favorables. El tramo de la progresiva 2+200 al 3+900 es una zona inundable, pero su impacto no tiene mayores consecuencias. Así mismo, a lo largo del tramo de la vía geológicamente es estable (clasifican GC, C.) **(Paquita, 2015)**.

En la evaluación de asentamientos y daños estructurales en viviendas de la urbanización San Valentín de la ciudad de Puno, tuvo como finalidad evaluar las causas que originan los daños estructurales producido por asentamientos totales y diferenciales en las viviendas construidas con financiamiento de ENACE y BANMAT. En su investigación que se propuso, corresponde a un diseño explicativo cuasi experimental, donde la exploración del sub-suelos se realizó en los 3 Lotes, para poder obtener muestras alteradas representativas por cada estrato para la clasificación de suelos. Donde finalmente, se concluyó que los daños estructurales a las viviendas en la urbanización San Valentín, se debe a los asentamientos producidos en los rellenos sin control de compactación ejecutados por los propietarios durante la construcción de sus viviendas. La carga de la edificación construida de una sola planta, es transmitida al suelo a través de los cimientos, porque los muros portantes reciben y transmiten dicha carga a los cimientos que no pueden soportar el asentamiento debido a la consolidación de los rellenos de alta compresibilidad **(Lima & Huayna, 2015)**.



En la evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la Bahía de Puno, para cimentaciones superficiales, tuvo como objetivo evaluar la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos, mediante la aplicación de procedimientos y métodos disponibles. Se realizó una revisión bibliográfica para caracterizar e identificar sobre los principios de mecánica de suelos lacustre blando compresible, procedimientos y métodos de cálculo de la capacidad portante, tradicionalmente utilizados para el diseño de las cimentaciones superficiales. Así mismo, se ejecutaron ensayos de laboratorio para caracterizar y determinar las propiedades de los suelos lacustres de la bahía de Puno. Los resultados de laboratorio nos mostraron la existencia de los suelos lacustres de la bahía de Puno, con contenidos de materia orgánica, que tiene baja resistencia al cortante y son compresibles, lo que conduce a asentamientos perjudiciales para las edificaciones que puedan proyectarse en la zona **(Laura, 2016)**.

En la evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la Av. Floral y Jr. Carabaya, Puno, tuvo como finalidad evaluar la superficie de pavimentos flexibles y rígidos para el mantenimiento vial. De acuerdo a su nivel de profundidad o alcance corresponde a una investigación descriptiva, ya que busca establecer una descripción lo más completa posible. El método utilizado para la recolección de datos recogidos de las vías en estudio corresponde a la recopilación por observación y registro en las fichas elaboradas para los métodos del Índice de Condición del Pavimento PCI e Inspección visual de zonas y rutas en riesgos



VIZIR. En conclusión, según las condiciones geotécnicas a partir de las evaluaciones, se determina que los suelos de la Av, Flora corresponde a un estado REGULAR y en el Jr. Carabaya corresponde a un estado BUENO (**Paucar, 2019**).

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

En el estudio geotécnico de la sub rasante para diseño de pavimentos flexibles en las vías de Alto Tacna, distrito alto de la Alianza, Tacna – 2019”, tuvo como objetivo principal determinar las características geotécnicas del suelo. Aplicando el método de diseño AASTHO-93, se propusieron una serie de alternativas de diseño de pavimentos, considerando las características del tráfico existente y determinando el número de Ejes Equivalentes para una vida útil. También se aplicaron varios métodos de diseño para estructuras de pavimento flexible de bajo volumen de tráfico. El estudio involucró ocho calicatas de suelo con una profundidad de 1.5 m, ubicados en diferentes puntos del área de estudio. Siendo la característica predominante del suelo de una arena limosa no plástica cuyo CBR (Valor relativo de soporte) oscila entre 9 a 11%, considerando para el diseño el más crítico (**Mamani & Ramos, 2019**).

En la caracterización Geológico-Geotécnica para el Diseño de la Carretera Rural Salamanca-Huaytapampa en la Provincia de Condesuyos - Arequipa”, el objetivo fue determinar y establecer las características geológicas-geotécnicas de los materiales de subrasante para la construcción de la carretera sobre el trazo Salamanca-Huaytapampa, en el cual se realizó 93 excavaciones de calicatas y la recolección de muestras para pruebas de laboratorio. La metodología propuesta incluyó una recopilación y síntesis de información bibliográfica, seguida de la recopilación de datos geológicos y geotécnicos mediante trabajo de campo,



ejecución de calicatas a lo largo de la vía, y finalmente, los datos obtenidos en campo y análisis de laboratorio fueron resumidos en un documento que sintetiza el trabajo realizado en campo, gabinete y análisis de los resultados obtenidos para este proyecto. Se determinó que los materiales presentes a lo largo del trazo de estudio están compuestos principalmente por suelos A-1-a, A-1-b, A-2-4 y A-4 (gravas arenosas y limosas con un contenido de humedad promedio de 7 %, suelos semicompactos con una capacidad portante del 95% de densidad seca máxima  $\geq 20\%$  (**Perez, 2020**).

En la evaluación de las características geotécnicas del suelo de las principales canteras para afirmado de carreteras del distrito de Chota”, tuvo como propósito evaluar las características geotécnicas del suelo en las principales canteras para la construcción de carreteras en el distrito de Chota. Se trata de un estudio descriptivo simple con una población de cinco canteras. Los resultados mostraron que las canteras La Torre, La Chuica, Rejopampa Alto 1 y Rejopampa Alto 2 pertenecen al grupo A-2, cumplen con los requisitos de granulación para la construcción de carreteras, pero presentan altos límites líquidos e índices de plasticidad. Por otro lado, la cantera Pingobamba Bajo pertenece al grupo A-1 y cumple con los requerimientos técnicos con un límite líquido de 22% y un índice de plasticidad de 4%. El CBR al 100% para las canteras La Torre (42.80%), La Chuica (42.33%), Pingobamba Bajo (53.50%), Rejopampa Alto 1 (44.80%) y Rejopampa Alto 2 (45.00%) son superiores al mínimo especificado (40%), de tal manera cumplen con los estándares para su uso en el afirmado de carreteras (**Ticlla, 2021**).

En la evaluación de la influencia del CBR en el terreno de fundación vial limo arcilloso para determinar espesores de mejoramiento mediante Modelos



elásticos y la metodología AASHTO 1993” tuvo como objetivo principal evaluar la influencia del CBR en el terreno de fundación vial limo arcilloso para determinar espesores de mejoramiento mediante modelos elásticos y la metodología AASHTO 1993. Se evaluaron 21 sectores críticos en el área de estudio mediante ocho criterios geotécnicos. Se determinó que los materiales evaluados eran inadecuados, y, por lo tanto, no son aptos para asegurar la estabilidad de la estructura del pavimento. De tal manera, para estabilizar el terreno, optaron la técnica de reemplazo de material con un CBR de 20%. Se ha realizado un análisis comparativo entre los espesores de mejoramiento obtenidos según los modelos elásticos y la metodología AASHTO 1993. Se encontró que los espesores de mejoramiento determinados con el modelo de Odemark y la metodología AASHTO son similares para un CBR de 1.9% a 2.2%. Sin embargo, existe una diferencia de hasta un 25% entre la metodología AASHTO con los modelos de Burmister y Boussinesq. Así mismo, a partir de un  $CBR > 3.5\%$ , los espesores de mejoramiento se van equiparando, demostrando una similitud entre las metodologías aplicadas. Los resultados mostraron que el aumento del CBR tiene una influencia significativa en la profundidad de mejoramiento (**Arrojo, 2021**).

### **2.1.3. Antecedentes internacionales**

En la evaluación geotécnica del suelo de 1km de vía no pavimentada, exponiendo el comportamiento físico y mecánico del mismo en el Municipio de Melgar – Tolima, en la ciudad de Colombia, plantea como objetivo evaluar geotécnicamente el comportamiento del suelo en 1Km de vía no pavimentada, realizando tres piques y exponiendo el comportamiento físico y mecánico del suelo existente. Se realizó mediante estudios de muestras de suelos extraídos de



la vía la Cajita; evaluados mediante ensayos en laboratorios de mecánica de suelos para obtener resultados de Humedad natural, límites de Atterberg, granulometría y CBR. De esta manera, llegando a obtener la clasificación de suelos según al sistema AASHTO y SUCS, determinando que el suelo pertenece al grupo A-1, sub grupo A-1-b, lo que quiere decir que contiene materiales con fragmentos de piedra, grava y arena, y en según sistema SUCS lo clasifica como suelos limosos bien graduada SW, con un CBR que va desde un 6.1% a 11.3%, lo que equivale a un terreno de fundación regular a buena (**Cortés & Gutiérrez, 2018**).

En el diseño de Pavimento Rígido para la Calle 7 entre Carrera 7 y 5 del Municipio de Puerto López Meta - Bogota", el objetivo es proponer un diseño para la construcción de un pavimento rígido para la Calle 7 y determinar el espesor mínimo que cumple con las especificaciones al mismo tiempo que resulta en el costo más bajo. Para lograrlo, se desarrollará un diseño óptimo mediante la realización de un estudio de TPD (tránsito de promedio diario) y caracterización del suelo, que servirá para diseñar la estructura del pavimento. El proceso de investigación se basa en un enfoque de investigación aplicada a nivel descriptivo. Los resultados indican que el 90% de los suelos se clasifican como suelos arcillosos de baja plasticidad CL, con un CBR promedio de 5,62%, lo que se clasifica como suelo malo (**Martínez, 2019**).

El interés constante por investigar e innovar y obtener información suficiente, los ha llevado a investigar un método de estabilización de suelos arcillosos para mejorar el CBR para pavimentos con materiales aditivos. Esto se hace para brindar un adecuado análisis de los resultados y la respectiva discusión sobre la estabilización de suelos. Se realizó una revisión sistemática, recopilando 35 artículos indexados desde 2013 hasta 2021. El objetivo general fue realizar una



revisión sistemática de los métodos existentes para estabilizar suelos arcillosos para mejorar la CBR para pavimento, utilizando una metodología descriptiva. Los resultados mostraron que los suelos tipo CL y CM tienen propiedades más desfavorables, y el material aditivo óptimo fue la ceniza de cascarilla de arroz, aumentando las propiedades mecánicas, específicamente CBR. Se concluye que la adición de CCA no solo proporciona mejores propiedades mecánicas en CBR, sino que también ofrece beneficios económicos y ambientales. Esta propuesta brinda un valioso aporte al ofrecer un método de estabilización innovador con certeza de su eficiencia utilizando residuos como la ceniza de cascarilla de arroz para obtener un mejor comportamiento mecánico en este tipo de suelo (**Chirinos, Rodriguez, & Socrates, 2021**).

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Origen y formación de suelos

En el proceso de planificación, diseño y construcción de obras de ingeniería; a los ingenieros les resulta útil conocer el origen del depósito de suelo sobre el que se construirá la estructura propuesta. Esto se debe a que cada depósito tiene características geomecánicas únicas (**M. Das, 2013**).

**El Suelo:** Se define como una capa delgada sobre la corteza terrestre de material proveniente de la desintegración y/o alteración física y/o química de las rocas y de los residuos de las actividades de los seres vivos que sobre ella se asientan (**Crespo, 2004**).

Los suelos se originan a partir de macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometidos a la acción ambiental disgregadora por la meteorización y erosión, en sus tres facetas:



**Física:** Es un proceso mediante el cual las rocas se descomponen en fragmento cada vez más pequeñas por las fuerzas físicas sin ningún cambio en su composición química; los cambios de temperatura dan como resultado la expansión y contracción de las rocas debido a una ganancia y pérdida de calor, generando grietas en las rocas; la congelación y descongelación continuas harán que una masa de roca se rompa; la exfoliación es otro proceso de meteorización física, por el cual las placas rocosas se desprenden de rocas grandes por medio de fuerzas físicas (**M. Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012**).

Estas acciones físicas tienden a romper la roca inicial y dividirla en fragmentos cada vez más pequeños, que pueden ser separados de la roca por agentes activos (agua, viento, gravedad) y transportados a otros puntos donde continúa la acción erosiva; es decir, tienden a crear las partículas que van a formar el suelo (**Gonzáles de Vallejo, 2002**).

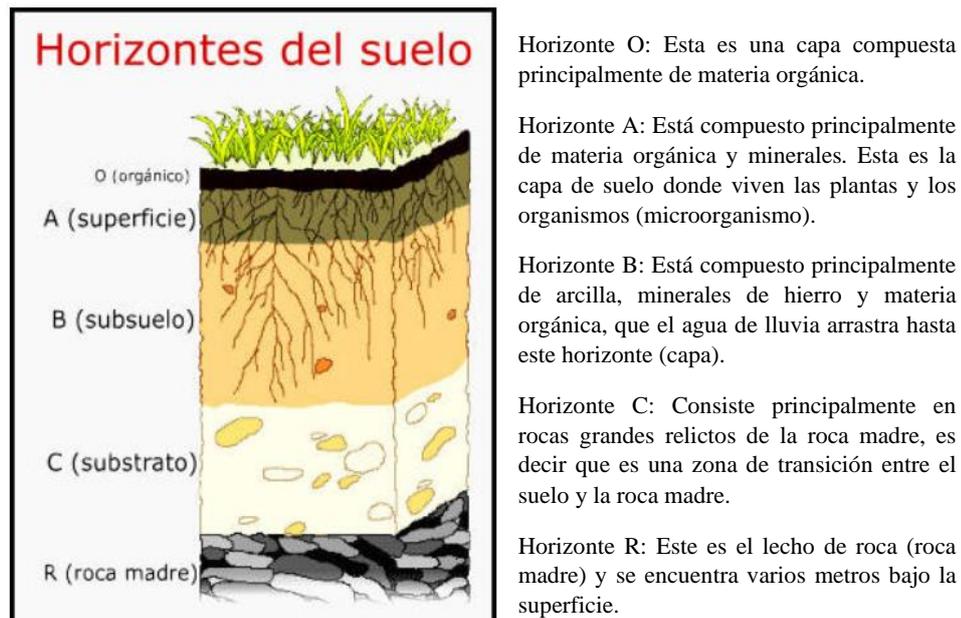
**Química:** Es un proceso en el que los minerales originales se transforman en algo completamente diferente, a través de la descomposición o alteración (**M. Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012**).

La erosión química, es originada por fenómenos de hidratación, disolución, oxidación, cementación, etc. Esto quiere decir que puede ayudar a la acción física y posteriormente cementar los productos formados, proporcionando unión química a las pequeñas partículas que se forman, aunque la mayoría de las veces contribuye más a la destrucción y transformación que a la unión (**Gonzáles de Vallejo, 2002**).

**Biológica:** Producido por la actividad bacteriana, provocando la descomposición de la materia orgánica y mezclando el producto con otras

partículas de origen físico-químico, actuando de elemento catalizador (**Gonzáles de Vallejo, 2002**).

Todo ello da lugar a fenómenos de disgregación (alteración o meteorización) y transformación de la roca, creándose el perfil de meteorización (Fig. 1). Donde en este perfil, la roca madre ocupa la parte más baja y alejada de la superficie, y el suelo la más alta (**Gonzáles de Vallejo, 2002**).

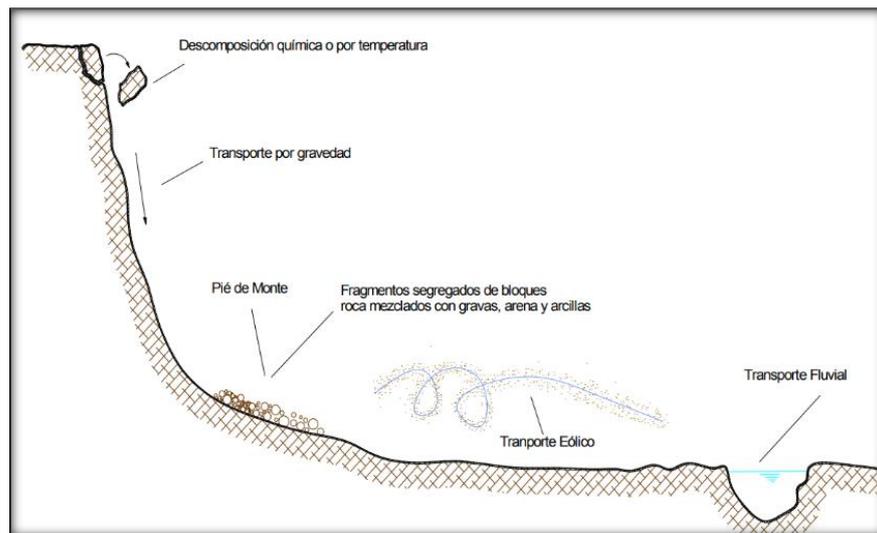


**Figura 1:** Horizontes del suelo. Fuente: Maldonado, 2020.

### 2.2.2. Origen de los depósitos del suelo

Los suelos se forman través de la acción desintegradora que sufren los macizos rocosos preexistentes o las rocas madre, debido a factores ambientales, procesos de meteorización in situ (físicos, químicos y biológicos) y procesos de erosión (transporte del suelo); cuando el suelo permanece in situ sin ser transportado, se denomina suelo residual, y cuando ha sufrido transporte, formando depósitos coluviales, aluviales, etc., se denomina suelo transportado (**Gonzáles de Vallejo, 2002**).

- **Suelos transportados:** Tiene una importancia fundamental para la formación de suelos, además, resulta como la acción repetitiva de muchos años (miles) sobre la misma partícula, transportados a otros puntos donde continúa la acción erosiva, formando así diferentes depósitos de suelos, por agentes activos (agua, viento, glaciares) **(Augusto José, s.f.)**.



**Figura 2:** Esquema de transporte y sedimentación de partículas. Fuente: Augusto, s.f.

Los factores de formación y evolución del suelo son cinco:

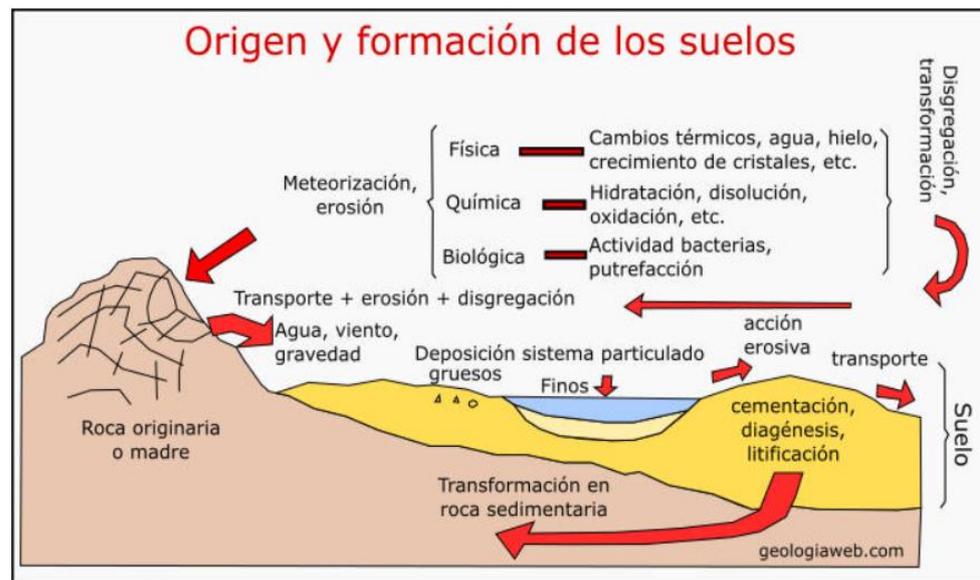
**Material Parental:** Permeabilidad y constituyentes minerales de la roca madre.

**Tiempo:** El clímax puede ser de decenas a miles de años. Por ejemplo, siglos.

**Topografía:** Pendientes, drenaje; orientación de la ladera y barreras topográficas.

**Formadores biológicos:** Micro y macro fauna como fuente de humus.

**Clima:** Temperatura, balance hídrico, intensidad de acción y velocidad de procesos.



*Figura 3: Formación de los suelos. Fuente: Maldonado, 2020.*

### 2.2.2.1. Suelos residuales

Los suelos residuales se encuentran en áreas donde la intensidad del intemperismo es mayor que la rapidez a la cual los materiales intemperizados se transportan por los agentes de transporte. La intensidad del intemperismo es mayor en regiones cálidas y húmedas comparada con regiones frías y secas y, dependiendo de las condiciones climáticas, el efecto del intemperismo puede variar bastante. La mayoría de los materiales tienden a permanecer en su lugar. Estos depósitos de suelo generalmente tienen una capa superior o estrato de material arcilloso o arcilloso limoso, debajo del cual se encuentran capas de suelo arcilloso o arenoso. Estas capas o estratos a su vez descansan sobre una roca parcialmente meteorizada, la cual se sitúa sobre una capa de roca sana. La profundidad de esta roca puede variar ampliamente, incluso dentro de una distancia de unos pocos metros. Los suelos residuales que se derivan de rocas químicas no poseen una zona de transición gradual a la roca madre. Grandes cimentaciones con cargas pesadas pueden ser susceptibles a grandes asentamientos de consolidación en estos suelos (M. Das, 2013).

### 2.2.2.2. Suelo transportado por gravedad

Los suelos residuales en una pendiente natural pronunciada se mueven lentamente hacia abajo, lo que se conoce generalmente como fluencia. Cuando el movimiento descendente del suelo es repentino y rápido, se le llama deslizamiento de tierra. Los depósitos de suelo formados por deslizamientos de tierra son coluviales (M. Das, 2013).

### 2.2.2.3. Depósitos aluviales

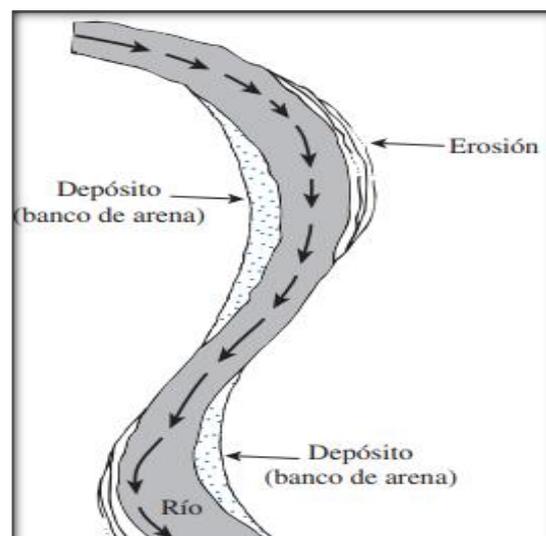
Los depósitos de suelos aluviales se derivan de la acción de los arroyos y ríos, y se pueden dividir en dos categorías principales: (1) depósitos en secuencias trenzadas y (2) depósitos causados por el cinturón de meandros de los ríos.

#### ❖ Depósitos por corrientes fluviales

Las corrientes trenzadas son de alto gradiente, fluyen rápidamente, son altamente erosivas y llevan grandes cantidades de sedimento. Debido a la alta carga de fondo, un cambio menor en la velocidad del flujo hará que los sedimentos se depositen. Los tamaños de grano por lo general van de grava a limo. Partículas de tamaño de arcilla generalmente no se encuentran en depósitos de corrientes fluviales (M. Das, 2013).

#### ❖ Depósitos meándricos

El término meandro se deriva del trabajo griego meandros; en un río meándrico, el suelo de sus orillas se erosiona continuamente en los puntos



**FIGURA 4:** Formación de depósitos de bancos de arena en una corriente meándrica. Fuente: M. Das, 2013.



donde tiene forma cóncava y se deposita en las orillas donde el banco tiene forma convexa; estos depósitos se denominan bancos de arena, y suelen consistir de arena y partículas de tamaño de limo; durante las grandes avenidas, los ríos se desbordan inundando zonas de bajo nivel (**M. Das, 2013**).

Las partículas de suelo más finas que consisten de limos y arcillas son arrastradas por el agua más lejos hacia las planicies de inundación; estas partículas se sedimentan a velocidades diferentes y forman lo que se le refiere como depósitos pantanosos que a menudo son arcillas altamente plásticas (**M. Das, 2013**).

#### **2.2.2.4. Depósitos lacustres**

Los ríos y manantiales llevan agua hacia los lagos; en las regiones áridas, los arroyos transportan grandes cantidades de sólidos en suspensión; cuando estas corrientes desembocan en un lago, las partículas granulares se asientan en el área formando un delta; algunas de las partículas más gruesas y finas, como el limo y la arcilla, se depositan en el fondo del lago en capas alternas de partículas de grano grueso y fino; los deltas formados en regiones húmedas tienden a tener depósitos de suelo más finos en comparación con los de regiones áridas (**M. Das, 2013**).

Las arcillas estratificadas son estratos alternados de limo y arcilla limosa con espesores que pocas veces sobrepasan 13 mm; el limo y la arcilla limosa que constituyen los estratos se transportaron hacia los lagos de agua dulce por el agua derretida al final de la Era del Hielo; la permeabilidad hidráulica de las arcillas estratificadas presenta un alto grado de anisotropía (**M. Das, 2013**).

#### **2.2.2.5. Depósitos glaciares**

Durante la Era del Hielo del Pleistoceno, los glaciares cubrieron grandes áreas de la Tierra; con el tiempo, los glaciares avanzaron y retrocedieron; durante



su avance, arrastraron grandes cantidades de arena, limo arcilla y boleos; derrubio es un término general que suele aplicarse a los depósitos sedimentados por los glaciares; los derrubios se pueden dividir de manera general en dos categorías principales: no estratificados y estratificados (M. Das, 2013).

#### **2.2.2.6. Depósitos eólicos de suelos**

El viento es también un importante agente de transporte que conduce a la formación de depósitos en el suelo; cuando quedan expuestas grandes áreas de arena, el viento puede soplar la arena y depositarla en otro lugar; los depósitos de arena soplada suelen adoptar la forma de dunas; a medida que se forman las dunas, el viento desplaza la arena de sus crestas; más allá de la cresta, las partículas de arena ruedan por la pendiente; el proceso tiende a formar un depósito compacto de arena sobre el lado expuesto al viento y un depósito muy suelto sobre el lado opuesto al viento, de la duna (M. Das, 2013).

#### **2.2.2.7. Suelo orgánico**

Los suelos orgánicos suelen encontrarse en áreas de poca altura donde el nivel de agua freática está cerca o arriba de la superficie del terreno; la presencia de un nivel de agua freática alto fomenta el crecimiento de plantas acuáticas que, al descomponerse, forman suelo orgánico; las pruebas de laboratorio indican que, sometidos a cargas, un gran porcentaje del asentamiento se deriva de su consolidación secundaria (M. Das, 2013).

### **2.2.3. Composición y partes del suelo**

El suelo está compuesto de cuatro partes básicas: La parte mineral (minerales) o parte inorgánica, el componente orgánico (organismos vivos o muertos), agua, el aire (Maldonado, 2020).

#### **2.2.3.1. Minerales o componente inorgánico**

Los minerales o la componente inorgánica es la más abundante, representa entre el 40 % al 50 % del volumen total del suelo; estos minerales se originan a partir de la descomposición (erosión o meteorización in situ) de rocas preexistentes o rocas madre (rocas ígneas, sedimentarias y rocas metamórficas);



la parte sólida del suelo, está formada por minerales y fragmentos de roca, que corresponden a partículas de diversos tamaños como grava, arena, limo y arcilla (Maldonado, 2020).

#### **2.2.3.2. Componente orgánico (materia orgánica)**

El componente orgánico del suelo, está formado por organismos vivos (microorganismos, plantas, etc) y organismos muertos (restos de plantas, microorganismos muertos, heces de animales, etc), conforma alrededor del 5 % del volumen total del suelo; un suelo rico en materia orgánica tiene una alta capacidad para retener agua y nutrientes básicos, lo que lo hace atractivo para la producción de cultivos (Maldonado, 2020).

#### **2.2.3.3. El agua**

El agua presente en el suelo se almacena en los espacios disponibles entre las partículas que componen el suelo (porosidad); esto representa entre el 20% al 30% del volumen total del suelo y su importancia radica en su alta capacidad para transportar nutrientes básicos para la vida en el suelo y para facilitar la descomposición biológica-química: el porcentaje de agua retenida en el suelo dependerá principalmente de los diferentes tipos de suelos; el suelo arcilloso tiene la capacidad de retención de agua más alta, mientras que el suelo arenoso tiene la capacidad de retención más baja debido a su propiedad de permeabilidad (Maldonado, 2020).

#### **2.2.3.4. El aire (los gases)**

Los gases son otro de los componentes básicos del suelo, representa el aire que ocupa los espacios disponibles entre las partículas sólidas del suelo (porosidad), suele ocupar entre el 20 % al 30% del volumen total del suelo; el oxígeno es esencial para la respiración de las raíces y los microbios (microorganismo), lo que ayuda a mantener el crecimiento de las plantas (Maldonado, 2020).



*FIGURA 5: Componentes y partes de un suelo. Fuente: Rosas, 2012.*

#### 2.2.4. Tipos de suelos

Existen diversos tipos de suelos, todos ellos relacionados a la actividad para lo que van a ser usados, en este caso mencionaremos a los tipos básicos de suelos que se encuentran para actividades de ingeniería, mecánica de suelos y geotecnia (Maldonado, 2020).

##### 2.2.4.1. Suelos gravosos (grava)

Sus partículas tienen un rango de tamaño de 8-10 cm a 2 mm, presentan una alta permeabilidad y sus componentes se observan a simple vista (Maldonado, 2020).

##### 2.2.4.2. Suelos arenosos (arena)



Sus partículas presentan un tamaño entre 2mm a 0,060 mm, son muy permeables y sus componentes también se observan a simple vista (**Maldonado, 2020**).

#### **2.2.4.3. Suelos limosos (limo)**

En tamaño de las partículas están entre un 0,060 mm y 0,002 mm, tienen capacidad de retención de agua mayor que las arenas, pero menor que las arcillas, sus componentes no son visibles a simple vista; suelen ser atractivos para la agricultura si tienen alto contenido mineral y orgánico (**Maldonado, 2020**).

#### **2.2.4.4. Suelos arcillosos (arcilla)**

Las partículas en este tipo de suelo son menores a 0,002 mm (inferiores a los limos), poseen alta capacidad de retención de agua y son muy deseables para la agricultura, particularmente si contienen un alto porcentaje de materia orgánica; sin embargo, este tipo de suelo representa el mayor desafío en obras de ingeniería (**Maldonado, 2020**).

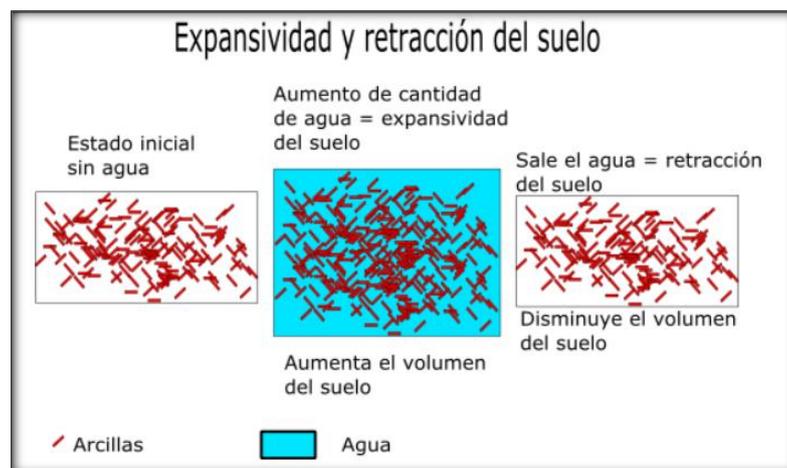
#### **2.2.4.5. Suelos orgánicos**

La formación de suelo orgánico se produce a través de la descomposición de restos orgánicos animales o vegetales; estos suelos cubren los primeros metros de la superficie y se caracterizan por una baja capacidad portante, alta compresibilidad y baja resistencia al agua; se considera desfavorable para cualquier sitio de proyecto de infraestructura. Por lo tanto, debe eliminarse (**Avilés, 2013**).



**FIGURA 6:** Tipos de suelos según a sus características físicas, químicas y mecánicas. Fuente: Rosas, 2012.

Un material de gran importancia son las arcillas expansivas, son aquellas que conforman los suelos arcillosos expansivos, donde el tamaño de las partículas es inferior a 2 micras, y se caracterizan por la capacidad que de expansión (aumento de volumen) cuando absorben agua o retracción (disminución de volumen) cuando baja la humedad, y es controlado por la variación de humedad en el suelo (Maldonado, 2020).



**FIGURA 7:** Expansividad y retracción del suelo arcilloso. Fuente: Maldonado, 2020.



En general todo tipo de arcillas, tienen alta capacidad de retención de agua, sin embargo, existen cierto tipo de arcillas que por su composición y comportamiento son las más problemáticas, algunas son: Las arcillas esmectitas y las arcillas montmorillonitas (**Maldonado, 2020**).

Las arcillas expansivas son posiblemente el material más problemático en ingeniería civil, geotecnia e ingeniería geológica, es por eso, que su estudio en mecánica de suelos y geotecnia es necesario para lograr que las obras de ingeniería no sufran daños con el pasar del tiempo; los problemas más comunes en obras de ingeniería son: La generación de grietas en varias direcciones debido al asentamiento (retracción) o expansión de las arcillas o rotura y deformación de los elementos estructurales de una obra de construcción (**Maldonado, 2020**).

## **2.3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUELO**

### **2.3.1. Geotecnia**

La geotecnia es una rama de la Ingeniería Geología e Ingeniería Civil, que abarca los campos de mecánica de suelos y la mecánica de rocas, provenientes del medio geológico y aplicadas en obras de ingeniería; los geotecnistas, determinan las propiedades de los suelos, rocas y materiales involucrados en soluciones geotécnicas, para diseñar, especificar, analizar, inspeccionar y evaluar las obras civiles donde los principios geotécnicos están presentes (**Mamani, 2022**).

Las aplicaciones de la mecánica de suelos y rocas incluyen la predicción, prevención o mitigación de daños causados por desastres naturales, deslizamientos de tierra, sumideros, asentamientos, etc. La geología juega un papel importante en la aplicación de la mecánica de suelos y rocas (**Mamani, 2022**).

### **2.3.2. Estudio Geotécnico**

Un estudio geotécnico el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno; el estudio geotécnico se realiza previamente al proyecto de obra de ingeniería, teniendo por objeto determinar la naturaleza y propiedades físicas y mecánicas del suelo que sean necesarias conocer, dependiendo del proyecto que se vaya a ejecutar (**Fidalgo, 2017**).



El investigador geotécnico TERZAGHI (1943), sostiene que: "La magnitud de la diferencia entre el comportamiento real de los suelos en el campo, y el comportamiento predicho basado en teorías, solo puede determinar mediante la experiencia en el campo" (Surco, 2021).

### 2.3.3. Estudio de Mecánica de suelos

MTC-PERÚ (2014), indica que la aplicación de la mecánica de suelos a estudios de proyectos, requiere tener datos sólidos, seguros y abundantes sobre el suelo con el que se está tratando, dado que el conjunto de esta información, permite al proyectista a obtener una comprensión precisa de las propiedades físicas del suelo (Surco, 2021).

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 (Badillo, 2005).

### 2.3.4. Ensayos de laboratorio

El MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones), señala que la disciplina de mecánica de suelos estudia las propiedades y comportamiento mecánico del suelo, con el fin de diseñar y construir con criterios de ingeniería obras permanentes (civil), empleando el suelo como material estructural; se realizan ensayos de laboratorio para determinar las características geotécnicas del suelo como parte de las técnicas de reconocimiento geotécnico (Surco, 2021).

La estimación de los parámetros de resistencia al corte en suelos se puede lograr ya sea a través de la medición directa, realizada en muestras con adecuada calidad representativa y en condiciones controladas (que requieren equipo de laboratorio especializado), o a través de ensayos "in situ", que también permiten la medición directa del suelo (Surco, 2021).



#### 2.3.4.1. Contenido de Humedad Natural

El contenido de humedad es una propiedad física del suelo, de gran utilidad en la construcción civil. Se obtiene de una manera sencilla, porque el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están determinados por la cantidad de agua que contienen (**Surco, 2021**).

El contenido de humedad de un suelo se expresa en porcentaje y es la proporción del peso de agua en una cantidad determinada de suelo en relación al peso de las partículas sólidas (**MTC, 2016**).

Para determinar el contenido de humedad del suelo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s - W_r} * 100$$

**Donde:**

$W_r$ =Masa del Recipiente

$W_h$ =Masa de Recipiente + Suelo Húmedo

$W_s$ =Masa de Recipiente + Suelo Seco

$W\%$ =Masa del agua

#### 2.3.4.2. Análisis Granulométrico por Tamizado

El análisis del tamaño de las partículas del suelo, tiene como objetivo determinar las proporciones de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados según el tamaño de las partículas, a partir de los cuales se definen las gravas, las arenas y los materiales de grano fino (limo y arcilla) (**MTC, 2014**).

Este proceso consiste en separar las partículas del suelo, para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar (**MTC, 2014**).

**TABLA 1: Tamices de malla cuadrada**

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Fuente: (Manual de Ensayos -

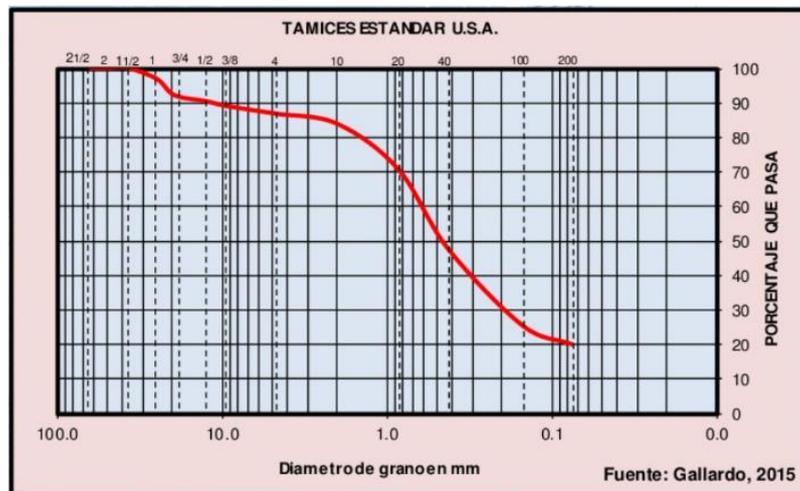
Dependiendo del tamaño de las partículas del suelo, se definen los siguientes términos:

**TABLA 2: Clasificación de suelos según Tamaño de partículas**

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

Fuente: (M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos -

Universalmente se ha establecido la malla No. 200 como medida divisoria en la clasificación de suelos; finos y gruesos, y a través de una curva de distribución, donde el eje de la abscisa corresponde al diámetro de las partículas y el eje de las coordenadas corresponde al porcentaje retenido, se muestra con un alto porcentaje de aproximación a lo real, la variedad de tamaños de partículas que componen el suelo en estudio (Romel, 2015).



**FIGURA 8:** Gráfico de Análisis granulométrico. Fuente: Gallardo, 2015.

Para determinar el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N° 200) de la siguiente forma:

#### Cálculos

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Cálculo del porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

#### 2.3.4.3. Límites de Consistencia

Los límites de consistencia o de límites Atterberg, tienen como objetivo determinar la plasticidad de la porción de material que pasa por el tamiz N° 40 y que forma parte de un suelo (MTC, 2014).

La Plasticidad, es la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, de tal razón, la plasticidad de un suelo, no depende de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de

sus elementos finos; el análisis granulométrico no puede mostrar esta característica, por lo que es importante determinar los Límites de Atterberg (MTC, 2014).

Los límites de Atterberg indican la sensibilidad del comportamiento del suelo en función de su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido; estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112) (MTC, 2014).



FIGURA 9: Límites de Atterberg: Fuente: Maldonado, 2020.

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

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

Límite de Contracción (retracción), cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

El límite líquido y límite plástico nos dan una idea de que tan compresible puede ser el suelo, si estas cumplen los requisitos mínimos con las normas técnicas para poder ser estabilizadas (Surco, 2021).



### a. Límite Líquido

El límites líquido, es el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando el suelo tiene un porcentaje de humedad mayor al límite líquido, se comporta como un fluido viscoso (**Surco, 2021**).

Para determinar el contenido de humedad usamos una de las siguientes ecuaciones:

$$L.L. = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde:

L.L: Límite Líquido

N: Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad

Wn: Contenido de humedad del suelo.

### b. Límite Plástico

El límite plástico es definido como el contenido de agua que presenta el material, en términos de contenido de humedad, en que los rollitos de aproximadamente 3 mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento, debido al rodamiento que se debe realizar, para evitar esto debemos usar una placa de vidrio (**Surco, 2021**).

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

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

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Limite Líquido

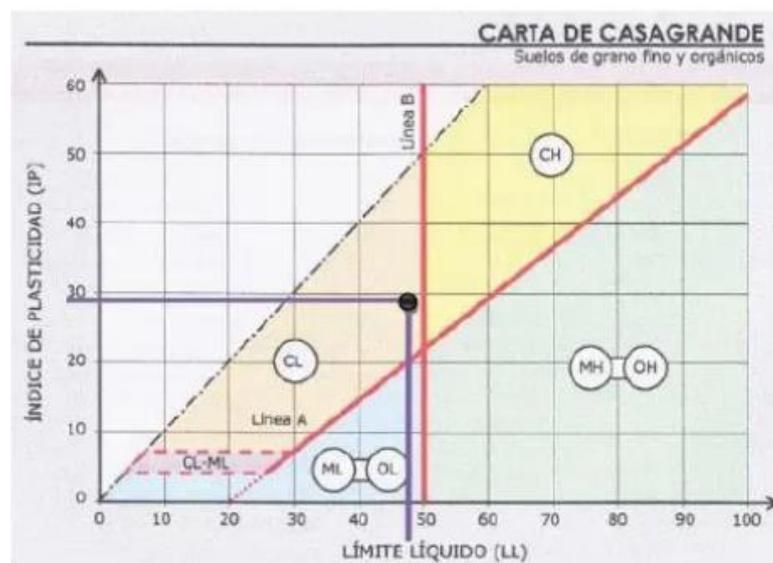
L.P. = Limite Plástico

L.L y L.P, son números enteros.

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo; gracias a diversos estudios Casagrande logró definir que los suelos con límite líquido mayor a 50, se consideran de alta plasticidad, es decir que admiten gran cantidad de agua y generalmente experimentan deformaciones plásticas importantes (**Maldonado, 2020**).

La Carta de Plasticidad de Casagrande, es un gráfico en el que se representan los valores del límite líquido e índice de plasticidad, para diferenciar las arcillas de los limos.

A grandes rasgos, una de la característica importante de esta carta es la línea A empírica, la ecuación  $IP=0.73(LL-20)$ , hace la separación de las arcillas inorgánicas con los limos inorgánicos, donde las arcillas inorgánicas están por encima de la línea A y los limos inorgánicos por debajo de esta; por otro lado, la línea B paralela de las coordenadas y ubicada en el punto 50 del límite líquido, divide a los suelos de baja plasticidad de los de alta plasticidad (**Gutiérrez, 2019**).



**FIGURA 10:** Interpretación de La Carta de Plasticidad. Fuente: Gutiérrez, 2019.

El suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

**TABLA 3: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad**

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

Fuente: (M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos -

#### 2.3.4.4. Proctor Modificado

El ensayo del Proctor Modificado, abarca los procedimientos de compactación de Suelo teniendo como finalidad obtener la humedad óptima para una determinada energía de compactación, con el fin de determinar la curva de compactación; la humedad óptima, es la cantidad de agua para obtener la densidad máxima de un suelo determinado con un esfuerzo determinante de compactación; la densidad máxima es obtenida por ensayos de laboratorio con el contenido de humedad óptima; una vez obtenido los datos de la relación humedad - densidad en laboratorio, se realiza el ensayo de CBR (**Crespo, 2004**).

Para encontrar este parámetro lo que hacemos es realizar cuatro ensayos de un mismo Suelo, pero con diferentes humedades, y obtendremos cuatro densidades y humedades diferentes, por lo tanto, podemos usarlos para obtener la humedad óptima y máxima densidad seca mediante interpolación (**MTC, 2014**).

El Proctor Modificado tiene la finalidad de obtener la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, calculando con las siguientes formulas:

❖ Área del molde

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: Área del molde

D: Diámetro del molde



❖ Volumen del molde

$$V = A * H$$

Donde:

V: Volumen del molde

H: Altura del molde

❖ Porcentaje de humedad

$$W(\%) = \frac{Wh - Ws}{Ws - Wr} * 100$$

Donde:

Wr: Masa del recipiente

Wh: Masa de Recipiente + Suelo Húmedo

Ws: Masa de Recipiente + Suelo Seco

❖ Densidad húmeda

$$\rho_{hum} = \frac{Whum}{V}$$

Donde:

$\rho_{hum}$ : Densidad Humeda

Whum: Peso de la muestra húmeda

V: Volumen del molde

❖ Densidad Seca

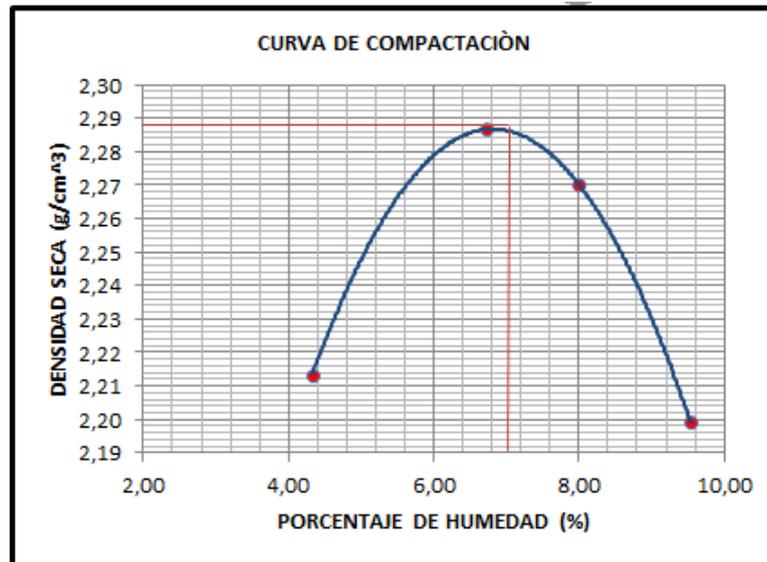
$$\rho_s = \frac{\rho_{hum}}{1 + W}$$

Donde:

$\rho_s$ : Densidad Seca

w: porcentaje de humedad

Los datos de densidades secas y contenidos de humedad de las muestras ensayadas se ubican en un gráfico en escala aritmética, ubicar el contenido de humedad en la abscisa y las densidades secas en la ordenada. En la curva se ubica el punto de mayor densidad seca y el correspondiente contenido de humedad, los cuales son llamados “máxima densidad seca” y óptimo contenido de humedad”.



**FIGURA 11:** Curva de compactación. Fuente: Maldonado, 2020.

#### 2.3.4.5. Relación de Soporte de California “CBR”

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente 0.1 o 0.2 (pulgada) de penetración expresada en porcentaje; también se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, el ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo; los ensayos de CBR se realiza usualmente después de efectuar el ensayo de Proctor Modificado, obteniendo los datos de humedad óptimo y la densidad máxima para un determinado suelo; el comportamiento de los suelos varía de acuerdo a su grado de alteración y a su granulometría (Surco, 2021).

**TABLA 4: Factores para la compactación en el CBR**

CBR – ASTM D - 4429			
Diámetro del molde (pulg)		6	
Martillo (lb)		10	
Numero de capas		5	
Numero de golpes por capa	10	25	56

Fuente:

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante, sub base, base y afirmado; las lecturas tomadas, tanto de las penetraciones como la de las cargas, se representan gráficamente en un sistema de coordenadas según programa, donde finalmente se determina el CBR (**Surco, 2021**).

$$CBR = \left( \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \right) \times 100(\%)$$

Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de sub rasante pertenece el sector o sub tramo, según lo siguiente:

**TABLA 5: Valores del Sub rasante**

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
S <sub>0</sub> : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Sub rasante Insuficiente	De CBR ≥ 3% a CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: (M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos -

Así mismo, dentro de este ensayo, se determina su expansión expresada en porcentaje, donde los especímenes son saturados por 96 horas (4 días), con una sobrecarga mayores a 4.50k. Es necesario durante este periodo tomar registros de expansión cada 24 horas y al final de la saturación tomar el porcentaje de expansión (**Surco, 2021**).



La expansión se calcula por la diferencia entre las lecturas del deformímetro antes y después de la inmersión. Este valor se refiere en tanto por ciento con respecto a la altura de la muestra en el molde, que es de 127 mm (5").

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

L1: Lectura inicial en mm.

L2: Lectura final en mm.

## 2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos son clasificados con propiedades similares, se pueden clasificar en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería; los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar las características generales de los suelos de manera concisa sin una descripción detallada; actualmente, existe dos sistemas de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos, comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles; se trata del American Association of State Highway Officials (AASHTO) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (M. Das, 2015).

La clasificación se realiza de acuerdo al tamaño de las partículas que forman los suelos, se puede clasificar de la siguiente manera:

- ❖ Grava: Mayor de 2mm
- ❖ Arena gruesa: entre 2mm y 0.2mm
- ❖ Arena fina entre 0.2mm y 0.02mm
- ❖ Limo: entre 0.02mm y 0.002mm
- ❖ Arcilla: Menos de 0.002mm

### 2.4.1. Clasificación de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

El AASHTO es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928; este sistema se utiliza actualmente en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, sub rasante, sub base y base de carrete (Surco, 2021).

Los suelos encontrados serán descritos y clasificados de acuerdo a la metodología para construcción de vías, en su clasificación se utilizarán los signos convencionales: el sistema de clasificación AASHTO, el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7, y se clasifican según su granulometría y plasticidad, porcentaje que pasa por los tamices n° 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz n° 40; estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz n° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz n° 200) (Wikivia, 2011).

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

**FIGURA 12:** Signos convencionales para perfil de calicatas - Clasificación AASHTO. Fuente: AASHTO, 1991.

#### 2.4.1.1. Descripción de los Grupos de Clasificación AASHTO

La AASHTO (1991), en su nominación M145 – 91, describe los grupos de clasificación de suelos (Surco, 2021).



- ❖ **Material Granular:** Son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N°200, y se clasifican en A-1, A-2 y A-3 (**Consamollo, s.f.**).

**Grupo A – 1:** Este grupo de materiales está conformado por mezclas bien gradadas que contienen fragmentos de roca o grava, arena gruesa, arena fina y material ligante poco o ligeramente plástico.

- **A-1-a:** Conforman los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado.
- **A-1-b:** Conforman los suelos acondicionados principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado

**Grupo A – 3:** El material típico de este grupo es arena fina de playa o de desierto sin finos de limo o arcilla, o con una cantidad muy pequeña de limo no plástico.

**Grupo A – 2:** Este grupo comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino, este grupo incluye una amplia variedad de materiales granulares que se encuentran entre los grupos A – 1 y A – 3, así como los materiales limosos y arcillosos de los grupos A – 4, A – 5, A – 6 Y A – 7.

- **A-2-4 y A-2-5:** En estos subgrupos conforman los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz n° 200. Estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.
- **A-2-6 y A-2-7:** En estos subgrupos conforman suelos descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica contienen las características de los grupos A-6 y A-7.

**TABLA 6: Clasificación de materiales granulares - AASHTO**

Clasificación general	Material granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

Fuente: (Braja M.

- ❖ **Materiales de limo y arcillas:** Son materiales finos, donde más de 35% pasa a través del tamiz N° 200 y se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 (**Consamollo, s.f.**).

**Grupo A – 4:** Este grupo comprende suelos limosos no plástico o moderadamente plástico, por lo general tiene el 75 % o más de materiales que pasa el tamiz N°200. Así mismo, incluye mezclas de suelo fino limoso y hasta un 64 % de arena y grava retenido en el tamiz N° 200.

**Grupo A – 5:** El material de este grupo es similar al que se describe en el grupo A – 4, salvo que este es comúnmente de carácter diatomáceo o micáceo y puede ser altamente comprensibles, como es indicado por su alto límite líquido.

**Grupo A – 6:** El material de este grupo es un suelo arcilloso plástico, por lo general tiene el 75% o más que pasa el tamiz N°200. Así mismo, incluye mezclas de suelos fino arcilloso y hasta 64% de arena y grava retenido en el tamiz N° 200. Los materiales de este grupo tienen cambios volumétricos elevados entre el estado húmedo y el estado seco.

**A-7:** El material de este grupo es similar descrito en el grupo A-6, excepto a que las características tengan un levado limite liquido del grupo A-5, y puede ser elástico sujetándose a grandes cambios de volumen.

- **A-7-5:** Este subgrupo de suelos tiene un índice de plasticidad moderado en comparación con el límite líquido y puede ser altamente compresible. También están sujetos a cambios significativos de volumen.
- **A-7-6:** Este subgrupo de suelos tiene un alto índice de plasticidad en comparación con el límite líquido y experimenta cambios de volumen significativos.

**TABLA 7: Clasificación de materiales finos - AASHTO**

Clasificación general	Material limo – arcilla (35% a mas del total de la muestra basada por el núm. 200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Fuente: (Braja M.

#### 2.4.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

La forma original de este sistema fue propuesta por Casagrande en 1948; en la actualidad, es ampliamente utilizado por los ingenieros (Norma ASTM D-2487); este sistema divide los suelos en dos grandes grupos: granulares y finos (Braja M. Das, 2015).

**TABLA 8: Símbolo de tipo suelos - SUCS**

CLASIFICACIÓN SUCS			
SÍMBOLO	DEFINICIÓN	SUB GRUPO	SUFIJO
G	Grava	Bien graduado	E
S	Arena	Pobremente graduado	P
M	Limo	Limoso	M
C	Arcilla	Arcilloso	C
O	Limos orgánico y arcilla	Límite líquido alto (>50)	L
H	Alta plasticidad		
L	Baja plasticidad		
W	Bien graduado (tamaño de partículas diversos)		
P	Pobremente graduado (tamaño de partículas uniformes)		
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos	Límite líquido alto (>50)	M

Fuente:

El Sistema Unificado de Clasificación se clasifica en dos grandes categorías:

- a. Suelos de grano grueso que son de grava y arena en estado natural con menos de 50% que pasa por el tamiz N°200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de G o S, donde G es para el suelo de grava o grava, y S para la arena o suelo arenoso (**Braja M. Das, 2015**).
- b. Suelos de grano fino con 50% o más que pasa por el tamiz N°200; los símbolos de grupo comienzan con un prefijo de M, se refiere a limo inorgánico, C a arcilla inorgánica y O para limos orgánicos y arcillas; el símbolo Pt se usa para la turba, lodo y otros suelos altamente orgánicos (**Braja M. Das, 2015**).

Cada uno de estos suelos se subdividen según su límite líquido en dos grupos, si el límite líquido es menor al 50%, se le asigna la letra L (baja compresibilidad) y si es mayor al 50%, se le asigna la letra H (alta compresibilidad). Estos grupos dan lugar a los siguientes tipos de suelos:

**TABLA 9: Clasificación de suelos - SUCS**

CLASIFICACIÓN SUCS			
TIPO DE SUELO	SÍMBOLO DE GRUPO	NOMBRE DE GRUPO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
Suelos de grano grueso (más de 50% retenido en el tamiz N° 200)	GW	Grava bien gradada	Mezcla gravosa, poco o ningún material fino. Variación en tamaños granulares.
	GP	Grava mal gradada	Mezcla de grava – arena, poco o ningún material fino.
	GM	Grava limosa	Mezcla de grava – arena – limo.
	GC	Grava arcillosa	Mezcla de grava – arena – limo. Grava con material fino en cantidades apreciables.
	SW	Arena bien gradada	Mezcla de arena bien gradada – grava, poco o ningún material fino. Arena limpia con poco o ningún material fino.
	SP	Arena mal gradada	Mezcla de arena mal gradada – grava, poco o ningún material fino.
	SM	Arena limosa	Mezcla de arena – limo.
	SC	Arena arcillosa	Mezcla de arena – arcilla.
Suelos de grano fino (50% o más pasado el tamiz N° 200)	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad	Arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas.
	ML	Limo inorgánico de baja plasticidad	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
	OL	Arcilla orgánica	Limos inorgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
		Limo orgánico	
	CH	Arcilla orgánica de alta plasticidad	Arcillas gruesas.
	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad	Limos inorgánicos, suelos finos limosos o arenosos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánico silíceo), limos elásticos.
OH	Arcilla orgánica	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.	
	Limo orgánico		
Suelos altamente orgánico	Pt	Turba	Turba (carbón de formación) y otros suelos altamente orgánicos.

Fuente:

Las clasificaciones de suelos, permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico (MTC, 2014).

A continuación, se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

**TABLA 10: Correlación de Tipos de suelos AASHTO - SUCS**

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

Fuente:

## 2.5. MEJORAMIENTO DE SUELOS

Este trabajo consiste en la excavación del terreno debajo de la subrasante o cimientado del terraplén y su reemplazo parcial o total con materiales aprobados, adecuadamente formados, dispuestos y compactados de acuerdo con esta especificación y con las dimensiones, alineamientos y pendientes especificados en el plano del proyecto y según dirigido por el Superintendente. El mejoramiento de suelos también se puede realizar mediante el uso de estabilizadores de suelos, según lo especificado en el proyecto, se debe tener en cuenta el tipo de estabilizador de suelos, así como los procedimientos y condiciones especificadas en el proyecto.

Se considera las siguientes categorías:

❖ **Mejoramiento involucrando terrenos existentes**

Si se espera que el proyecto implique la mejora del material del suelo existente, esto puede ocurrir en dos escenarios, a saber, mediante estabilización mecánica o combinación de suelos.

❖ **Mejoramiento empleando únicamente material adicionado**

Cuando se propone la construcción de la subrasante mejorada con aporte solamente de material adicionado, se pueden presentar dos situaciones ya sea que la capa se construya en el suelo natural existente o tendrá que excavarse según el espesor indicado en los documentos. Los espesores de las capas tienen limitaciones por la maquinaria de compactación que se emplee según el tipo de suelo y el grado mínimo de compactación que se tiene que alcanzar variando desde 15 cm hasta los 30 cm.



## 2.6. EVALUACIÓN DE CANTERAS

Para una obra de tipo vial en general (carreteras, calles urbanas, etc.), se evalúan canteras ya que son fuentes de aprovisionamiento de suelos y rocas requeridos como material de préstamos para la conformación de terraplenes, pedraplenes, estabilizaciones, sub bases y bases o como fuentes de agregados pétreos, para la elaboración o producción de concretos de cemento portland y concreto de asfalto caliente.

### 2.6.1. Pedraplén

Este trabajo incluye preparar la superficie de apoyo, dar forma y compactar el relleno. (base, cuerpo y corona) hasta su total terminación con el uso adecuado de materiales rocosos aprobados, provenientes de excavación o préstamo de Cantera, según los planos de proyecto, secciones e instrucciones de supervisores, incluyendo sistemas de drenaje, sistemas de sub drenaje subterráneos y otros necesarios.

Los pedraplenes se dividirán en tres componentes o zonas.

- ❖ Base, la parte inferior del pedraplén que está en contacto con el terreno natural (fundación).
- ❖ El cuerpo, la parte del pedraplén situada en el contacto entre la base y la transición.
- ❖ Transición o coronación, formada por la parte superior del pedraplén.

Los materiales que se emplean en la construcción de pedraplenes pueden proceder con la excavación de la explanación o de las fuentes aprobadas y serán cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

Deberán además cumplir entre otros, con los siguientes requisitos:

#### a. Granulometría

El tamaño máximo no deberá ser superiores a los  $\frac{2}{3}$  de los espesores de la capa compactada. Respecto a la Base y el Cuerpo, estos deberán ser construidos en 3 capas sucesivas, de piedra en la parte inferior, de grava en la parte intermedia y de arena gruesa y grava fina en la parte superior. Los



espesores mínimos de dichas capas serán: 0,60, 0,25 y 0,15 m, respectivamente.

b. Resistencia a la abrasión

Al ser sometido los materiales petreos al ensayo de Abrasión, según las especificaciones de la norma de ensayo MTC-E-207, el material por utilizar en la construcción del pedraplén no podrá presentar un desgaste mayor del 30% luego del ensayo de abrasión.

### 2.6.2. Subrasante

La sub rasante o suelo de fundación, es donde se construirá la estructura del pavimento, que ha sido nivelada, perfilada y compactada y que sirva de apoyo o soporte a las diferentes capas de pavimento (MTC, EG-2013).

Sin embargo, el concepto de capacidad de soporte horizontal de subrasante o simplemente capacidad de soporte de subrasante implica una evaluación estructural para determinar la respuesta mecánica del sub suelo hasta profundidades en las que pueden ocurrir deformaciones significativas.

El comportamiento de la subrasante está en función de la humedad y densidad, está asociado a las condiciones ambientales de sitio. En suelos con baja capacidad de soporte donde los valores de humedad alcanzan la condición saturada y los valores de densidad de campo están muy por debajo de la densidad de compactación, los valores de los módulos elásticos realmente son muy bajos (Ordóñez y Minaya, 2001).

Por lo tanto, no se recomienda considerar subrasantes con baja capacidad de soporte sin antes realizar procesos de estabilización en toda la profundidad correspondiente a la subrasante o incorporar elementos de refuerzo.

Los valores de C.B.R por debajo de 4-6% son considerados inestables para soportar una estructura de pavimento; con esta consideración el módulo resiliente, será el parámetro elástico representativo del comportamiento de la subrasante porque siempre estará asociados a suelos con comportamientos estables.



### **2.6.3. Sub base granular**

Es la capa entre la capa base y la subrasante en el pavimento asfáltico. Debido a que está sujeto a menos tensión que la base, puede tener una masa menor y generalmente está hecha de material granular. El material colocado entre la subrasante del pavimento rígido y la losa de pavimento rígido también se denomina sub base, en cuyo caso debe permitir el libre drenaje o ser altamente resistente a la erosión para evitar el bombeo; es importante en pavimentos flexibles porque cumple un papel estructural. También puede servir como capa drenante o auto contaminante para proteger la capa base de la erosión por fluctuaciones de las masas de agua subterránea y el arrastre de finos hacia las capas superiores.

### **2.6.4. Base granular**

Es la capa que se encuentra bajo la capa de rodadura de un pavimento rígido, debido a su proximidad con la superficie donde esta debe de poseer alta resistencia a la deformación para soportar altas presiones. Estas se construyen con materiales procesados y estabilizados según sus especificaciones técnicas; puede ser también tratados con cemento, o sin tratar como las gravas de rio, los materiales para el afirmado o piedra chancada. Cuando la base quedará descubierta o no vaya ser cubierta por una superficie bituminosa, el límite liquido debe ser no mayor de 25%, y el índice de plasticidad no debe de pasar en 2%; mientras que la capacidad portante con el C.B.R. estará entre un 80-100% dependiendo del tráfico ligero o mediano y pesado respectivamente, mientras que su equivalente arena tendrá que ser un 45% y el desgaste de roca con abrasión los ángulos deben de ser menor al 40%.

## **2.7. MARCO CONCEPTUAL**

- Base: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura.
- Calicata: Término genérico para designar un sondeo o excavación exploratoria, usualmente de poca profundidad.



- **Cantera:** Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.
- **CBR:** Acrónimo de California Bearing Ratio - Relación de soporte de California. Medida de la resistencia relativa de un suelo a la penetración bajo condiciones controladas de densidad y contenido de humedad.
- **Deformación compresiva:** Disminución de volumen por efecto de la aplicación de un esfuerzo normal de compresión. La deformación compresiva, tiene lugar por reacomodamiento de las partículas del material y la reducción de vacíos.
- **Depósito aluvial:** Acumulación de material (grava, arena y limo) transportado y depositado por una corriente de agua.
- **Depósito lacustre:** Acumulación de material depositado en un lago. Estos depósitos normalmente están formados principalmente por arcillas y en menor proporción por limos.
- **Estratificación:** Existencia de capas o estratos, planos, u otro tipo de superficies que limitan cuerpos de roca de igual o diferente litología.
- **Evaluación geotécnica:** Conjunto de actividades de generación y análisis de información sobre las características de un terreno, orientadas a optimizar las condiciones de emplazamiento de una obra y el diseño de sus cimentaciones y estructuras de contención.
- **Expansión:** Movimiento ascendente del suelo, resultado de la incrementación del volumen del suelo debido a la absorción de humedad
- **Índice CBR:** Indicador de la resistencia potencial a la deformación bajo las cargas de tráfico de la subrasante, subbase y material de base de un pavimento.
- **Límite Líquido (LL):** Cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.
- **Límite Plástico (LP):** Cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.



- Perfil de suelo: Sección vertical de un suelo que muestra la naturaleza y secuencia de varias capas, desarrolladas por sedimentación o por meteorización, o por ambos procesos.
- Subbase: Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.
- Subrasante: Superficie obtenida con las explanaciones, sobre la que se apoya la superestructura del pavimento, conformada por suelos seleccionados con características aceptables que son compactadas en capas para formar un cuerpo estable y óptimo, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito.
- Suelo arcilloso expansivo: Tipo de suelo arcilloso que sufre un cambio volumétrico importante cuando experimenta cambios de humedad.
- Suelo: Capa delgada de material, sobre la corteza terrestre, proviene de la desintegración y alteración física, química y de los residuos producidos por los organismos vivos que se asientan sobre ella.
- Terreno de fundación: Es parte del terreno en que se apoya una infraestructura y que es afectado por este, puede ser terreno natural o material de préstamo, su función es soportar la estructura en condiciones razonables de resistencia a la deformación.



## CAPÍTULO III

### MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de investigación se define al conjunto de procedimientos y técnicas que se aplica de manera ordenada y sistemática en la realización de un estudio (Coelho, 2020).

El presente proyecto de investigación es de tipo descriptivo y analítico, en el cual busca establecer una descripción fundamental del terreno de fundación, utilizando criterios que permitan comprender el comportamiento de los suelos y determinar las características geotécnicas. Este procedimiento se realizó mediante la recopilación de datos y resultados de forma cualitativa y cuantitativa, para su posterior análisis, interpretación, obtenidas través de diferentes procedimientos durante el trabajo de campo y ensayos de laboratorio.

Para el presente estudio, fue llevada a cabo en cuatro etapas, lo cual se ejecutó según los avances programados, con el objetivo de recopilar datos e información del terreno de fundación.

#### 3.2. TRATAMIENTOS Y ANÁLISIS DE DATOS

##### 3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptivo y analítico, ya que se evaluaron las características geotécnicas para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, para lo cual se utilizaron técnicas y procedimientos establecidos por las normas técnicas.

##### 3.2.2. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación sigue los procedimientos de las normas técnicas, cuyo objetivo es la descripción a partir de la observación en la exploración del suelo y ensayo de laboratorio, para después analizarlos. Así mismo, es un diseño transversal porque los datos se recolectaron en un momento y tiempo determinado.

Las estrategias que fueron utilizadas para la investigación, se establecieron según a las Normas Técnicas empleadas para la investigación, como American Society For Testing and Materials (ASTM), Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC) y AASHTO.

### 3.2.3. Definición de variables

Las variables son de valor para la investigación cuando se relacionan con otras variables, el cual se pueden clasificar en variable independiente (aquella que produce cambios en otra variable) y dependiente (es influida por la variable independiente). A continuación, detallaremos las variables y análisis de datos de la presente investigación, detalladas en la siguiente tabla:

**TABLA 11: Operacionalización de variables**

Variable	Tipo de variable	Definición	Dimensión	Indicador
Evaluación geotécnica de los suelos	Independiente	Permite determinar las características físicas y mecánicas, y capacidad portante del suelo.	Exploración de campo y ensayo de laboratorio	-Contenido de humedad -Análisis granulométrico -Límites de consistencia
Mantenimiento para construcción de pavimento urbano	Dependiente	Permite determinar el tipo de mantenimiento del terreno.	Ensayo de laboratorio	-Proctor modificado -CBR -Evaluación de canteras

Fuente:

### 3.2.4. Población, muestra y análisis

#### 3.2.4.1. Población

La población es el conjunto de elementos que comparten características o especificaciones iguales o similares, y es determinada para la selección y recopilación de la muestra. La limitación de la población está determinada por los problemas y objetivos de investigación.

En el presente proyecto de investigación, la población comprende la vía principal de la Avenida Costanera Sur, delimitado desde el Jr. 9 de Octubre hasta el Jr. 7 de Junio de la ciudad de Puno.

### 3.2.4.2. Muestra

La muestra es un subgrupo representativo de la población sobre el cual se van a recopilar los datos. La muestra del presente proyecto de investigación está referida a 12 calicatas de exploración directa ejecutadas a lo largo del tramo en estudio, tomando en cuenta la evidencia de un cambio significativo de las características de suelo.

### 3.3. PROCESO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el siguiente diagrama muestra los procesos generales del proyecto de investigación.

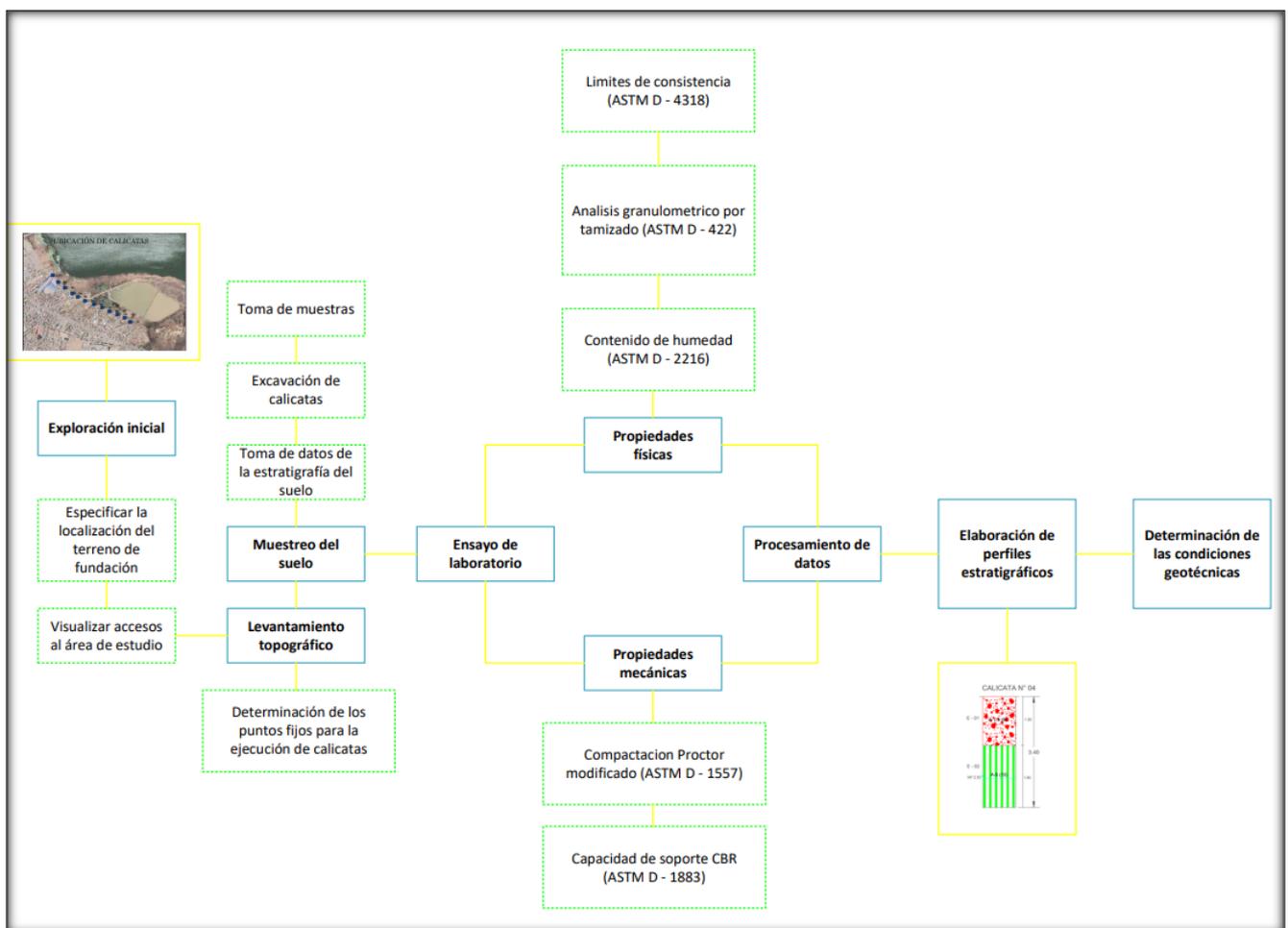


FIGURA 13: Proceso del proyecto de investigación. Fuente: Elaboración propia.



### 3.4. TÉCNICAS Y ESTAPAS DE INVESTIGACIÓN

El presente proyecto de investigación aplica técnicas según a la norma internacional ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y normas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC, para la caracterización geotécnica, dentro de la etapa de recolección de fuentes de Información, trabajo de campo, trabajo de laboratorio según SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y clasificación de suelos según AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes); y en trabajo de gabinete.

El estudio es de tipo descriptivo y analítico, realizada mediante la recopilación de datos e información de forma cualitativa y cuantitativa, para su posterior análisis e interpretación. Fue llevada a cabo en cuatro etapas, lo cual se ejecutó según los avances programados

#### 3.4.1. I ETAPA: Recolección de Fuentes de Información

La búsqueda, recolección y evaluación bibliográficas son de carácter preliminar, con el objetivo de recopilar diversos trabajos existentes en el ámbito de la investigación a nivel nacional e internacional a través planos, fotografías satelitales, informaciones previas, entre otros, el cual nos proporciona información adecuada, tenemos:

- ❖ Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3, 32x4) del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).
- ❖ Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC
- ❖ ASTM International (American Society for Testing and Materials).
- ❖ Fotografías satelitales “Google Earth”, en la edición imagen NASA – Europa Technologies-Digital Globe 2018.
- ❖ Informe Final Del Área De Geología Región Puno.
- ❖ Recopilación de la información bibliográfica existente de la zona de estudio



### **3.4.2. II ETAPA: Trabajo de campo**

#### **3.4.2.1. Exploración de campo**

La zona se encuentra ubicada en la ciudad de Puno Costanera Sur, contando con un relieve relativamente plana, ya que se encuentra en una zona uniforme. Para realizar una eficiente evaluación geotécnica es necesario tener el plano de ubicación y acceso, ya que nos proporciona información clave del área y su entorno, para la caracterización del área y la identificación de peligros geológicos y restricciones.

Dentro de esta etapa se realizó el reconocimiento del terreno, comprendiendo 3 km de longitud, en el cual el procedimiento consistió la observación visual de los diferentes tipos de materiales, distribución y ubicación de calicatas de forma alterna sobre el área, así como la anotación de los aspectos más resaltantes de la zona de estudio, efectuándose así la toma de muestra para realizar ensayos de laboratorio.

#### **3.4.2.2. Excavación de calicatas**

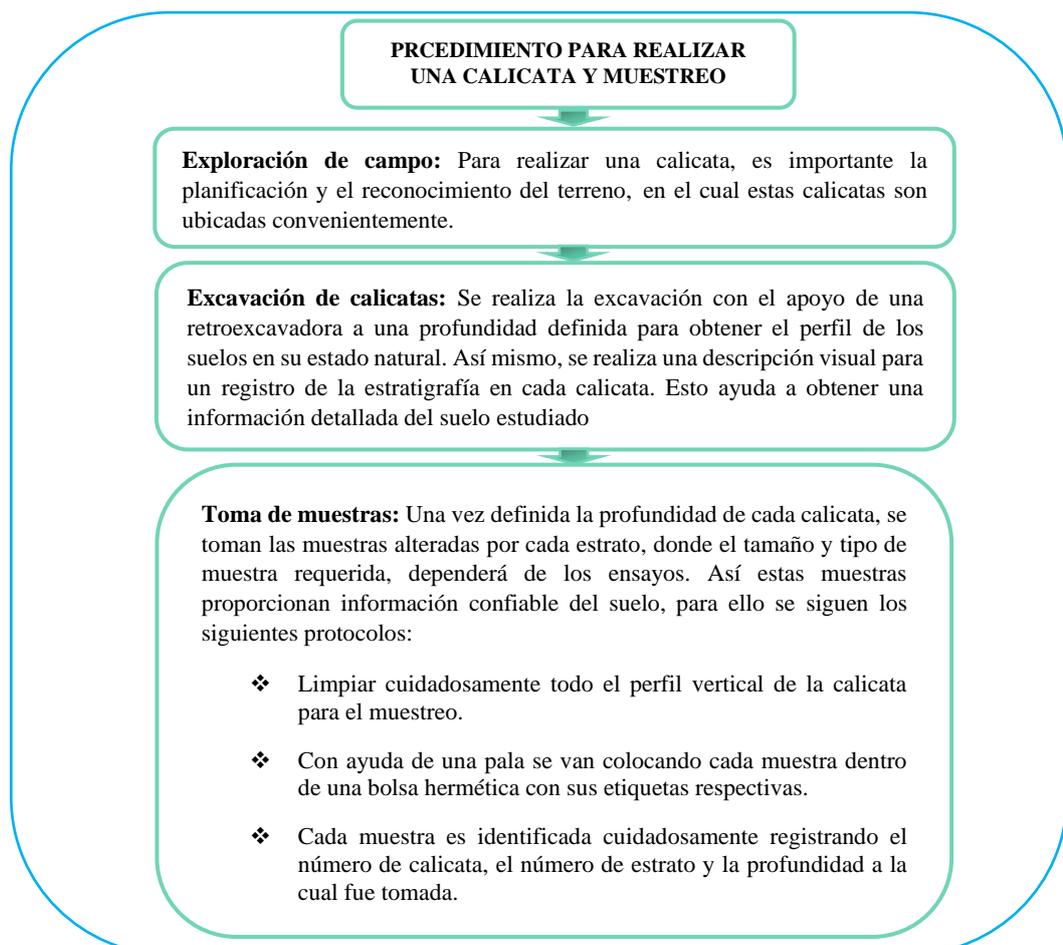
Así mismo, se realizó la excavación de 12 calicatas con el apoyo de una retroexcavadora, y debido a que la investigación no requirió la extracción de muestras inalteradas, nos permitió la inspección visual directa, así como la extracción de muestras alteradas de cada uno de los estratos encontrados a fin de realizar ensayos de laboratorio; se trasladaron y almacenaron en las instalaciones del laboratorio de suelos. Simultáneamente, se observó y se tomó los datos del perfil estratigráfico y la profundidad del nivel freático.

La ubicación y excavación de las 12 calicatas se realizó en forma alternada distantes cada 250 m aproximadamente, con una profundidad mínima de 1.50 m que establece el Manual de Carreteras, suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC., en la modalidad a cielo abierto, las mismas que fueron ubicadas convenientemente y con profundidad desde 1.40 m. a 3.60 m. de acuerdo a lo establecido según a la norma ASTM D – 2488/MTC E 101. Cada calicata tiene un registro con su respectivo código de identificación detallando el nombre del proyecto de investigación, número de calicata y la fecha de extracción, esto ayuda a obtener una información detallada del suelo estudiado.

### 3.4.2.3. Toma de muestras en excavación de calicatas

Para el presente estudio, la toma de muestras de suelo fue recolectadas de acuerdo a la norma MTC E 101(muestreo de suelos y rocas).

Una vez definida la profundidad de cada calicata, se debe de limpiar cuidadosamente todo el perfil estratigráfico de la calicata para el muestreo. Se toman las muestras alteradas por cada estrato, donde el tamaño y tipo de muestra requerida, dependerá de los ensayos que se vayan a efectuar; para los ensayos estándar se tomaron muestras un aproximado de 5kg a 8kg dependiendo al tipo de material, y con ayuda de una pala se van colocando dentro de una bolsa hermética con sus etiquetas respectivas, para los ensayos especiales como el Proctor modificado y CBR se recolectaron muestras en costales de color blanco, con un peso promedio 50Kg por costal. Cada muestra es identificada cuidadosamente registrando el número de calicata, el número de estrato y la profundidad a la cual fue tomada.



**FIGURA 14:** Procedimiento para realizar una calicata y su muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3. III ETAPA: Ensayo de laboratorio

Dentro de esta etapa los trabajos de laboratorio se han orientado a determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras de suelos, obtenidas en campo; y así determinar las condiciones geotécnicas. Los ensayos estándar están orientados a determinar las propiedades físicas a fin de conocer la clasificación o tipo de suelos; por otro lado, los ensayos especiales están orientado a determinar las propiedades mecánicas a fin obtener y determinar la resistencia de los suelos o comportamiento frente a las sollicitaciones de carga.

La caracterización de los suelos es posible gracias a los ensayos de laboratorio, y estos trabajos se efectuaron a las muestras disturbadas y según las recomendaciones de American Society of Testing and Materials (ASTM) y Normas Peruanas.

**TABLA 12: Ensayos de laboratorio bajo normas internacionales y nacionales**

ENSAYO	NORMAS INTERNACIONALES		NORMAS PERUANAS
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>			
Contenido de humedad	ASTM D - 2216	AASHTO T 265	MTC E 108/NTP 339.127
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D - 422	AASHTO T 88	MTC E 107 / NTP 339.128
Límite líquido	ASTM D - 4318	AASHTO T 89	MTC E 110 / NTP 339.129
Límite plástico	ASTM D - 4318	AASHTO T 90	MTC E 111 / NTP 339.129
Clasificación SUCS	ASTM D - 2487	-	NTP 339.134
Clasificación AASHTO	ASTM D - 3282	AASHTO - 145	NTP 339.135
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
Proctor modificado	ASTM D-1557	AASHTO T 180	MTC E 115 / NTP 339.141
California Bearing Ratio (CBR)	ASTM D-1883	AASHTO T 193	MTC E 132 / NTP 339.145

Fuente:

### 3.4.3.1. Ensayos estándar

Están orientados a determinar las propiedades físicas a fin de conocer la clasificación o tipo de suelos, por medio de su contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado y límites de consistencia (límite líquido y plástico).

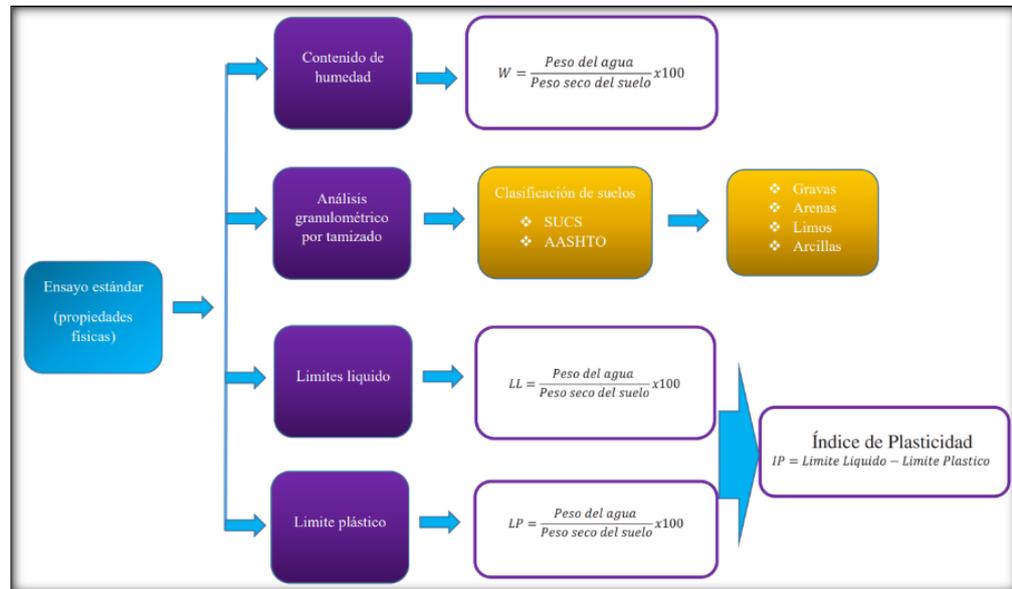


FIGURA 15: Ensayo estándar. Fuente: Elaboración propia.

#### ❖ Contenido de humedad

La norma MTC E 108 del Manual de Ensayo de Materiales, describe la relación el proceso del ensayo, como objetivo determinar el contenido de humedad de la muestra de suelo, a continuación:

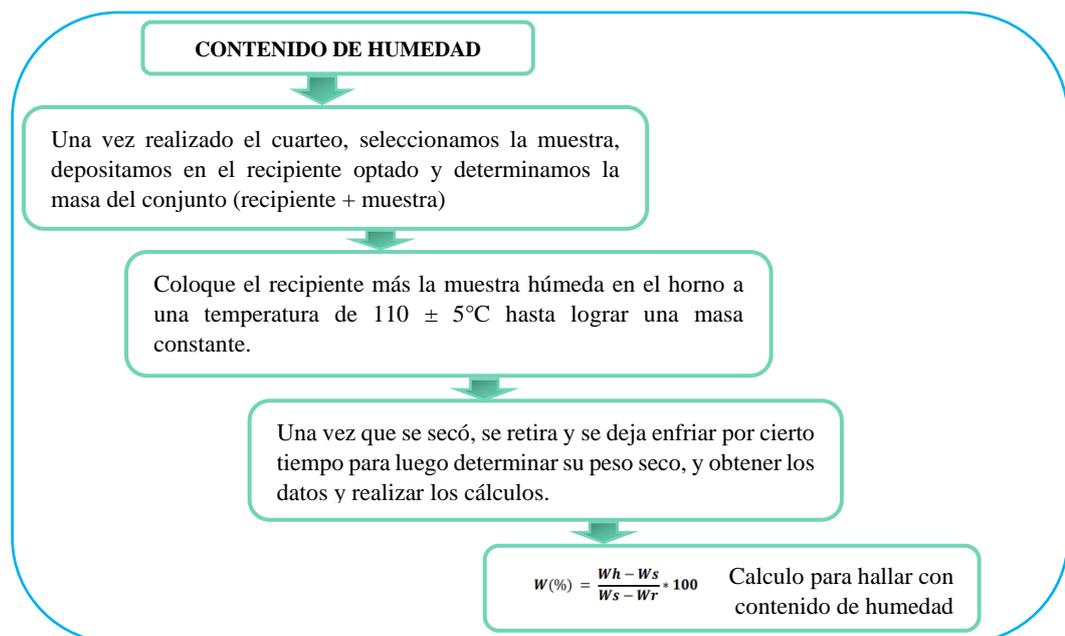


FIGURA 16: Procedimiento para el ensayo de contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

La norma MTC E 107 del Manual de Ensayo de Materiales, describe el método para determinar los porcentajes y la distribución de las partículas de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, a continuación:

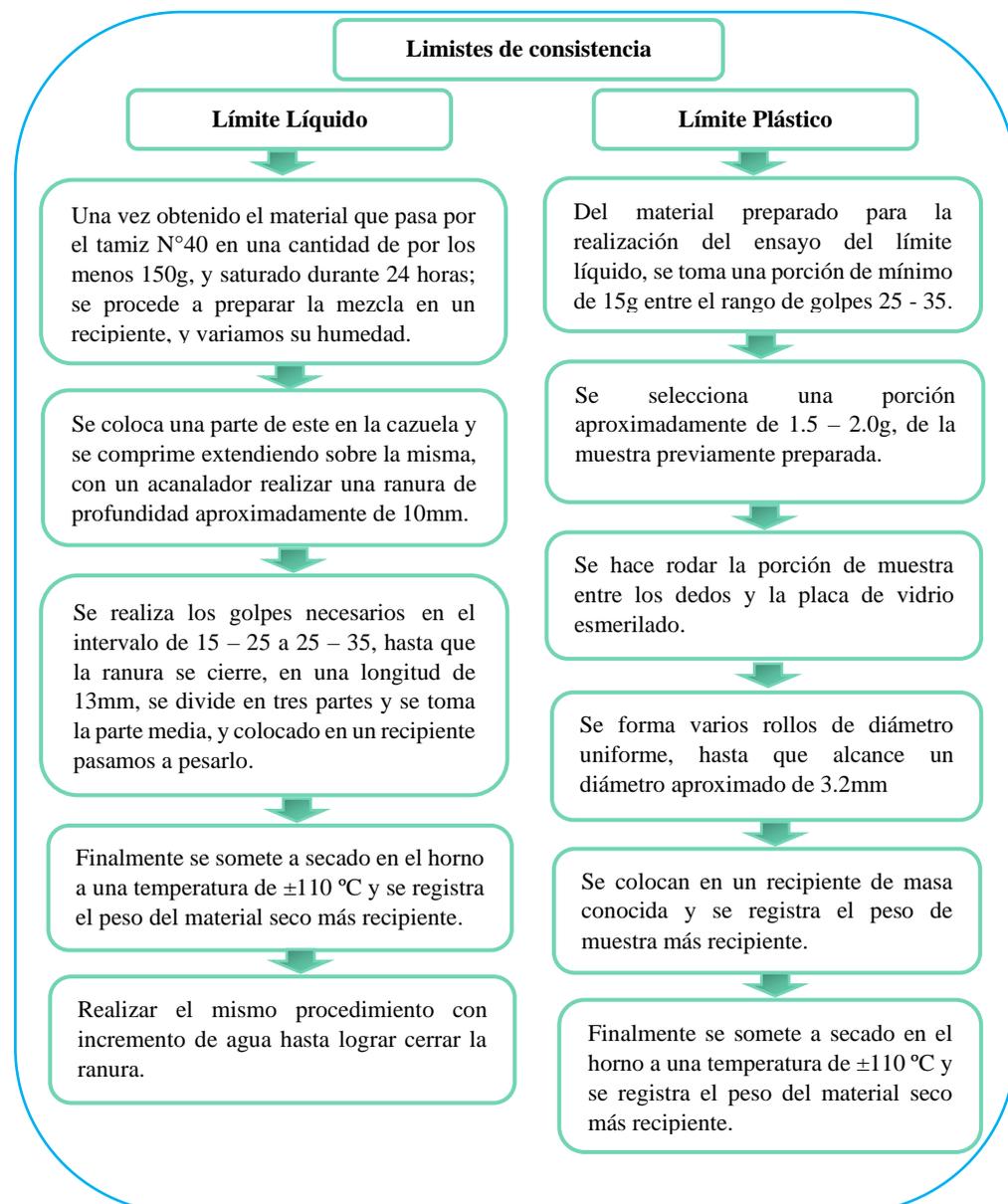


**FIGURA 17:** Procedimiento para el ensayo análisis granulométrico.  
Fuente: Elaboración propia.

## ❖ **Limistes de consistencia**

La norma MTC E 110 del límite líquido del Manual de Ensayo de Materiales, tiene como objetivo determinar los contenidos de humedad que definen las fronteras entre los estados de consistencia semilíquido, plástico y semisólido.

Mientras la norma MTC E 111, denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie plana, sin que dichas barritas se desmoronen. El índice de plasticidad se determina diferenciando el límite líquido y el límite plástico.



**FIGURA 18:** *Proceso para el ensayo de límites de consistencia.*

*Fuente: Elaboración propia.*



**Descripción:**

Al realizar los golpes necesarios, la ranura se llega a cerrarse, se divide en tres partes para poder pesarlo y realizar los rollitos para su índice de plasticidad.

**FIGURA 19:** Ensayo de límites de consistencia. Fuente: Elaboración propia.

❖ **Clasificación SUCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Unified Soil Classification System (USCS)), describe la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se puede clasificar suelos con tamaños menores de tres pulgadas; se representa mediante un símbolo con dos letras (Das, 2013).

Para una clasificación apropiada, se debe de conocer los siguientes datos:

- Porcentaje de gravas, fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenida en la malla N°4.
- Porcentaje de arena, fracción que pasa la malla N°4 y es retenida en la malla N°200.
- Porcentaje de limo y arcilla, fracción que pasa la malla N°200.
- Límites líquido. Límite plástico e índice de plasticidad.

“Los suelos de un sistema unificado se designan por símbolo de dos letras, el primero considera el principal componente del suelo y la segunda describe información de la curva granulométrica o la característica de plasticidad” (Geoxnet, 2019).

**TABLA 13: Identificación de suelos del sistema**

Simbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcillas orgánicas	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado

Fuente: Primera letra
Suelo altamente orgánico o turba
Segunda letra

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.

FIGURA 20: Simbología de suelos – SUCS. Fuente: Felizgeo, 2019.

### ❖ Clasificación AASHTO

Los suelos en el sistema de clasificación de AASHTO, pueden clasificarse según en 7 grupos principales desde el A-1 al A-7, con base en su distribución granulométrico, límite líquido e índice de plasticidad. Comprendiendo que en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de granulares donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla N°200 y aquellos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son suelos de los que pasan por la malla N°200.

**TABLA 15: Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Granular)**

Clasificación general	Material Granular ( 35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Limite liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Fuentes: Principios de Ingeniería Geotécnica (Braja

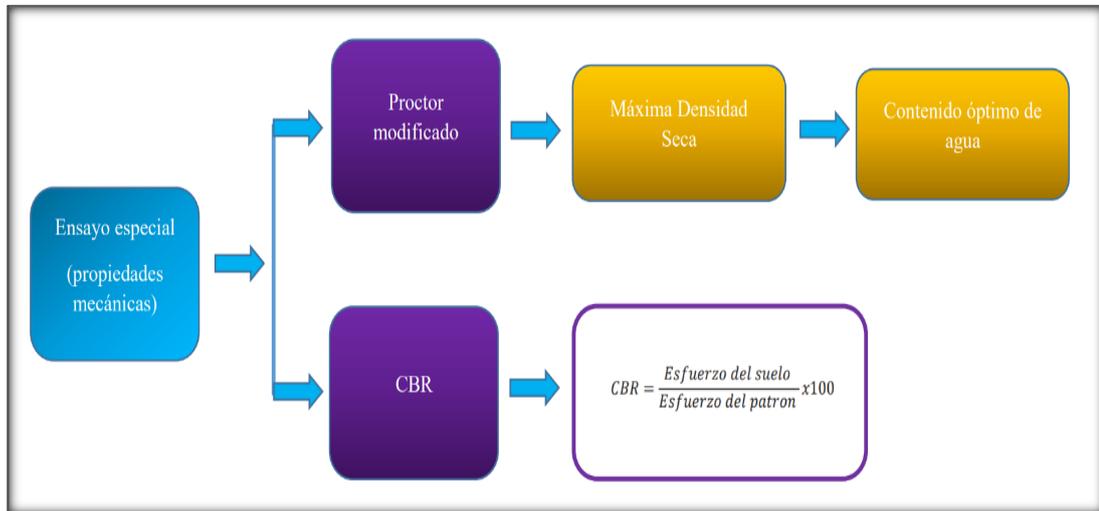
**TABLA 14: Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Limo-Arcilloso)**

Clasificación general	Material limo- arcilloso ( más del 35% del total pasa No.200)				
	Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7
					A-7-5 (a)
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)					
No. 10					
No. 40					
No. 200					
Características de la fracción que pasa No. 40					
Limite liquido					
Indice de plasticidad					
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Valoración general del subgrupo	Regular a pobre				
(a) Para A-7-5, IP < LL - 30					
(b) Para A-7-6, IP > LL - 30					

Fuentes: Principios de Ingeniería Geotécnica (Braja M.

### 3.4.3.2. Ensayos especiales

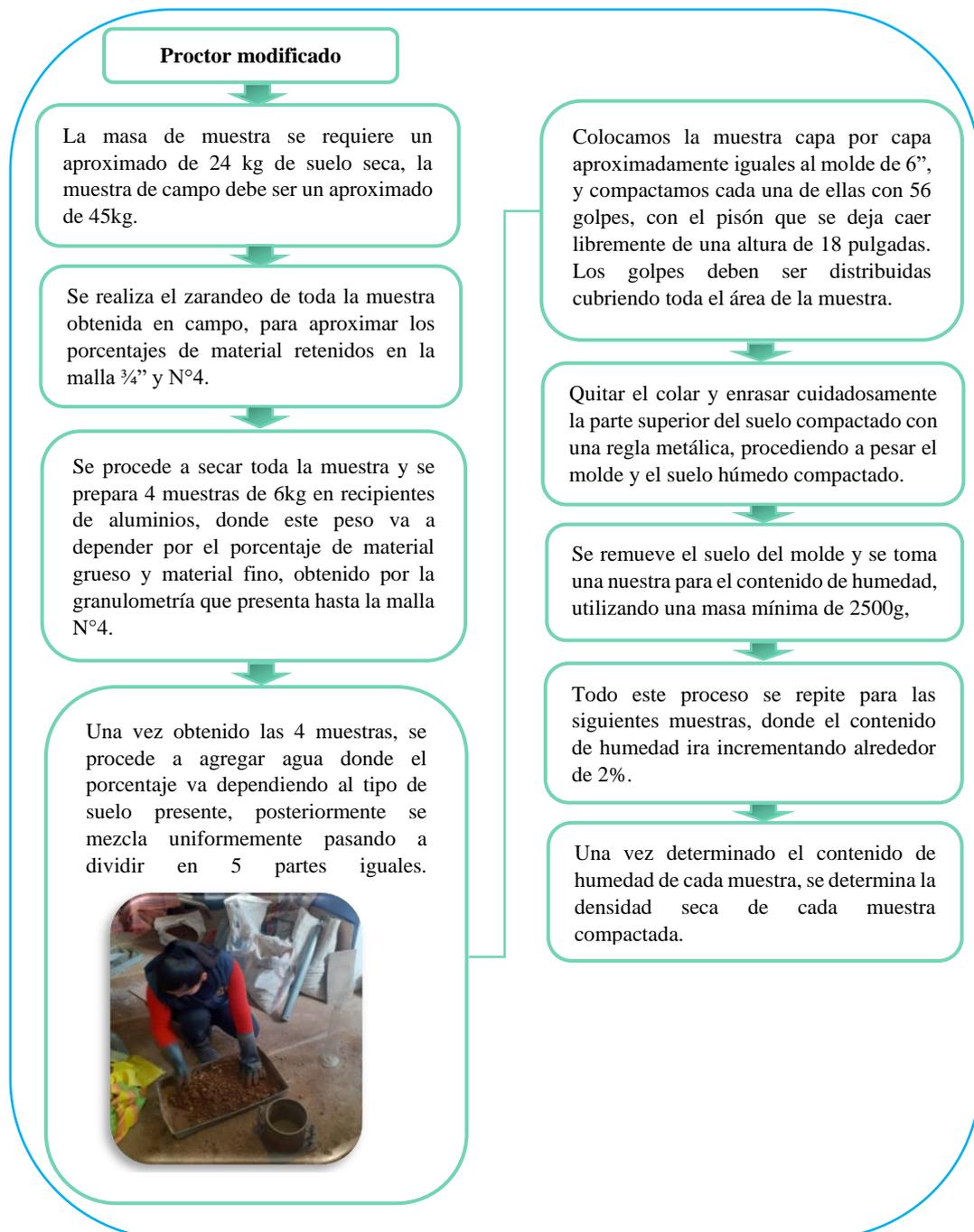
Están orientado a determinar las propiedades mecánicas a fin obtener y determinar la resistencia de los suelos o comportamiento frente a las sollicitaciones de carga.



**FIGURA 21:** Ensayos especiales. Fuente: Elaboración propia.

#### ❖ Proctor modificado

El Proctor modificado es una prueba de compactación del suelo, consiste en colocar el material en un molde de ensayo en 5 capas, y con el pisón modificado aplicar en cada una de ellas 56 golpes; al finalizar la última capa se enrasa el suelo al volumen disponible del molde, registrando la masa para determina la densidad del suelo compactado. El procedimiento se repite un mínimo de cuatro veces variando el contenido de humedad de la muestra. Con la finalidad de determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo compactado en un molde.



**FIGURA 22:** Procedimiento para el ensayo del Proctor modificado.

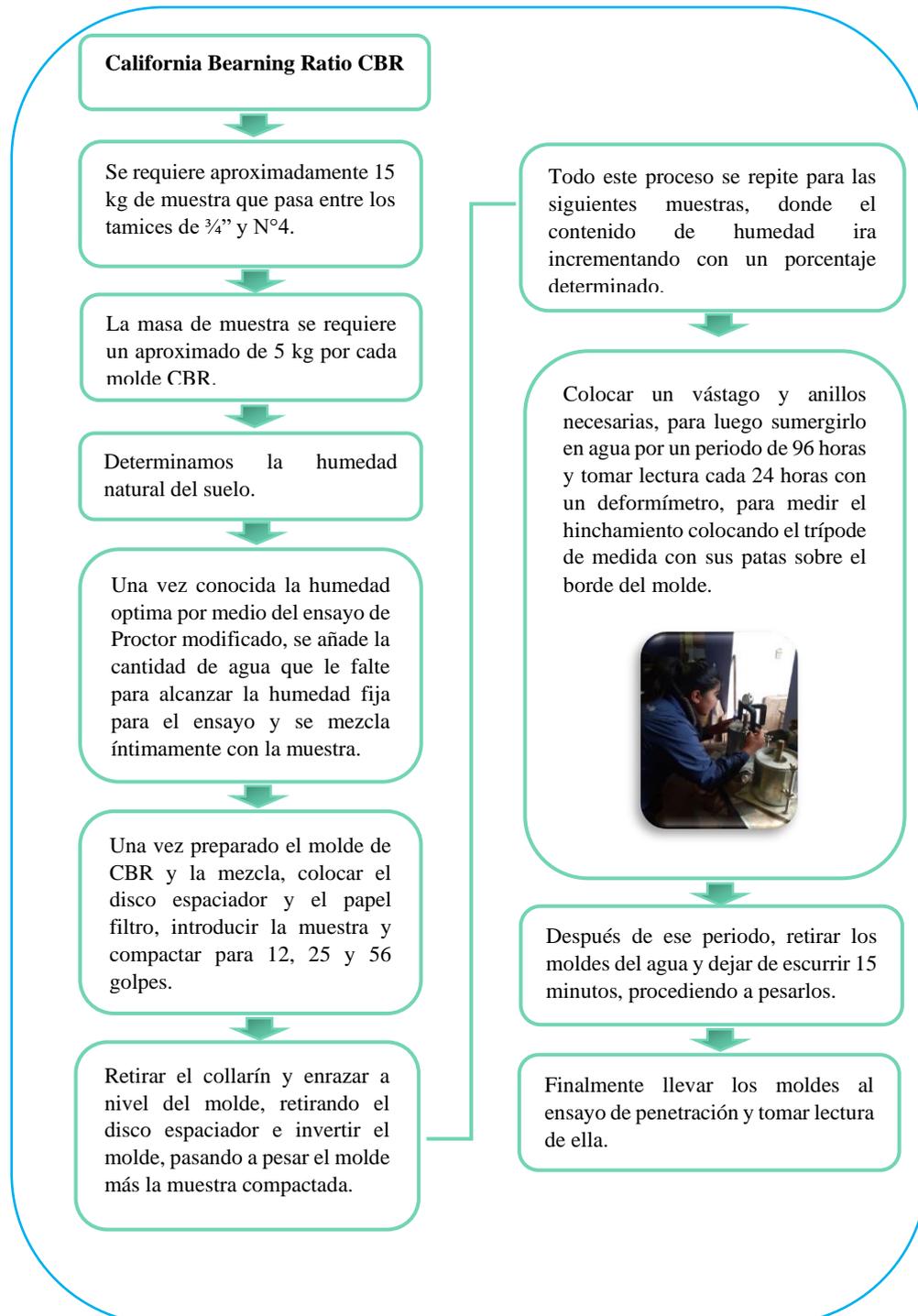
Fuente: Elaboración propia.

### ❖ California Bearing Ratio CBR

La norma MTC E 132, describe el procedimiento de ensayo para determinar el índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California

Bearing Ratio). El ensayo se realiza generalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad.

Este método de ensayo tiene como propósito determinar el porcentaje de expansión, valor de CBR y curva de presiones de penetración.



**FIGURA 23:** Proceso para el ensayo California Bearing Ratio CBR.

Fuente: Elaboración propia.



#### **3.4.4. IV ETAPA: Trabajo de gabinete**

Finalmente, dentro de esta etapa se desarrolla el procesamiento de datos obtenidos en campo y laboratorio, de tal manera podremos elaborar el proyecto de investigación de tesis.

- ❖ A partir de los ensayos de laboratorio, se procede a realizar los cálculos respectivos y la interpretación de las características geotécnicas, mediante el Microsoft Excel, en el cual, se realiza las hojas de cálculos para el procesamiento de datos utilizando las fórmulas de mecánica de suelos para la obtención de propiedades físicas y mecánicas.
- ❖ Con los resultados en campo y ensayo de laboratorio se elabora el perfil estratigráfico para el análisis e interpretación, con el fin de determinar las características geotécnicas.
- ❖ Elaboración de mapa de ubicación del área de estudio, utilizando los softwares: Google Earth, SAS planet, Argics y Autocad.
- ❖ Realizar el informe de tesis.

#### **3.5. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los instrumentos utilizados para el proyecto de investigación y directamente para la recolección de datos del área de estudio, son los siguientes:

- ❖ GPS (Sistema de posición global)
- ❖ Planos
- ❖ Pico
- ❖ Pala
- ❖ Bolsa de muestreo hermética
- ❖ Pizarra acrílica
- ❖ Plumones
- ❖ Útiles de escritorio
- ❖ Cámara fotográfica



- ❖ Flexómetro
- ❖ Wincha métrica de 50mt
- ❖ Libreta de campo
- ❖ Equipos de Protección Personal (EPPs)
- ❖ Equipos de laboratorio de mecánica de suelos como: horno, juego de tamices, balanza electrónica, casa grande, recipientes, agua destilada, equipo de proctor y CBR, entre otros.

## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. GENERALIDADES

Dentro de la Bahía Interior de Puno y a las orillas del lago Titicaca, se puede observar, que han sobrepasado el límites urbano natural, generando un desorden del uso del terreno urbano, como así mismo, una contaminación ambiental. El área de estudio, ha sido olvidado por muchos años en cuanto a la infraestructura vial, creando malestares en su entorno directo.

La implementación del proyecto permitirá brindar una idea clara del comportamiento del terreno de fundación, de tal manera podremos realizar un adecuado mejoramiento de la subrasante en el proyecto de pavimentación de la ciudad de Puno.

#### 4.2. UBICACIÓN

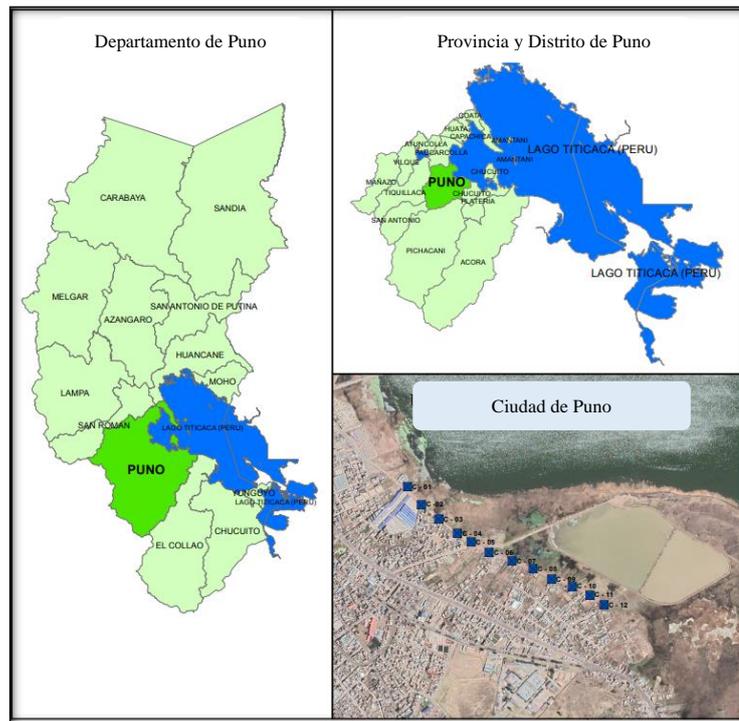
##### 4.2.1. Ubicación política y geográfica

Políticamente el área de estudio de esta investigación, se encuentra ubicado a orillas del Lago Titicaca, en la Bahía Interior de la ciudad de Puno, Distrito, Provincia y Departamento de Puno, en el cual el ámbito definido para el estudio tiene como límites la avenida Costanera Sur, comprendiendo desde el Jr. 9 de Octubre hasta el Jr. 7 Junio.

**TABLA 16: Ubicación Política del área de estudio**

UBICACIÓN POLÍTICA	
Departamento	Puno
Provincia	Puno
Distrito	Puno
Áreas	Avenida Costanera Sur, comprendiendo desde el Jr. 9 de Octubre hasta el Jr. 7 Junio.

Fuente: Elaboración



**FIGURA 24:** Ubicación política del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Geográficamente delimita entre las coordenadas UTM en el sistema WGS84 – Zona 19L:

**TABLA 17:** Ubicación Geográfica del área de estudio

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
Latitud Sur	13° 00'66"00" - 17° 17'30"
Latitud Oeste	71° 06'57" y 68° 48'46"
Altitud	3827 m.s.n.m

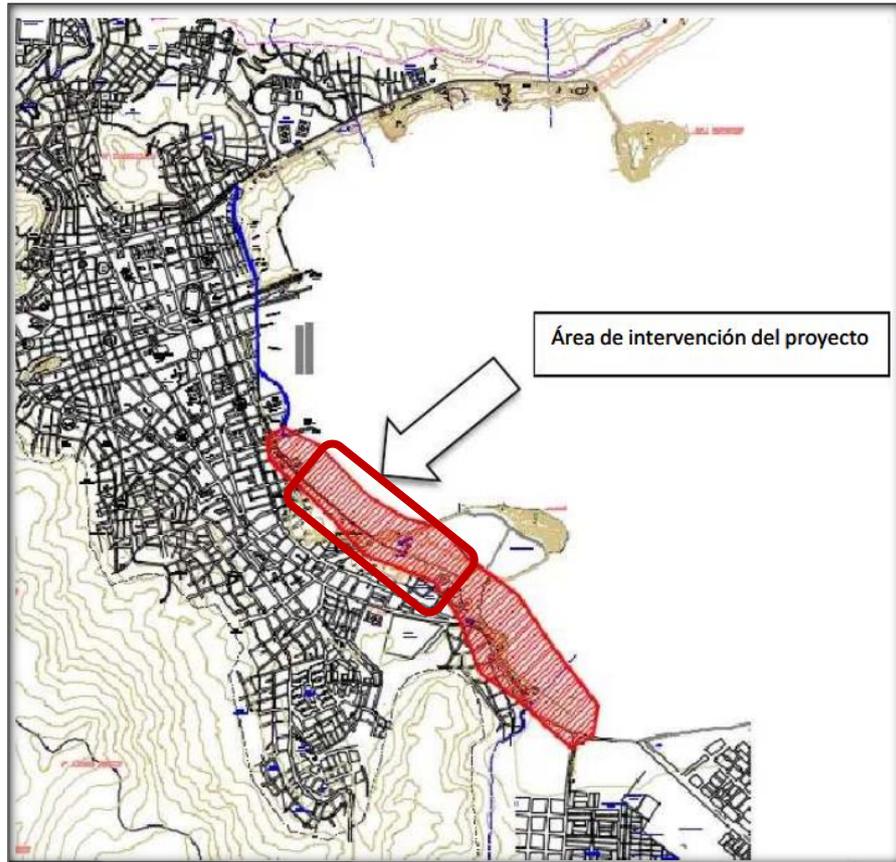
Fuente:

El ámbito definido para el estudio tiene como limites la avenida Costanera Sur, comprendiendo desde el Jr. 9 de Octubre hasta el Jr. 7 Junio, con las siguientes coordenadas:

**TABLA 18:** Coordenadas de ubicación del área de estudio (inicio-final)

Área de estudio	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
	Este (m)	Norte (m)	
Inicio	391 531	8 247 437	3827
Final	392 432	8 246 893	3827

Fuente: Elaboración



**FIGURA 25:** *Ámbito definido del área de estudio. Fuente: Adaptación de la Municipalidad Provincial de Puno, 2019.*

#### 4.2.2. Accesibilidad

El acceso desde el laboratorio de suelos al área de estudio, tiene una distancia de 2.2 km. y un tiempo 7 minutos aproximadamente.

**TABLA 19:** *Accesibilidad al área de estudio*

Tramo	Distancia (km)	Tiempo (min)	Vía principal
Laboratorio de suelos – área de estudio	2.2	7	asfaltada

Fuente: Elaboración

### 4.3. ASPECTO METEOROLÓGICO

#### 4.3.1. Clima

La ciudad de Puno se ubica a orillas del Lago Titicaca, en general, por su ámbito geográfico, las condiciones climáticas del área de estudio son frío y semiseco, sin embargo, por su ubicación geográfica el clima es temperado por la influencia de lago. Durante el transcurso del año, Puno se caracteriza principalmente por dos estaciones climáticas, una húmeda caracterizado por precipitaciones pluviales (noviembre - marzo), y la otra estación seca caracterizado por la ausencia de lluvias y bajas temperaturas.

#### 4.3.2. Temperaturas medias anuales

En las zonas de altitud comprendida entre 3800 y 4000 msnm, la temperatura promedio varía de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ , teniendo raras veces bajas temperaturas a menos de  $-6^{\circ}\text{C}$  y altas a más de  $19^{\circ}\text{C}$  (Spark, 2022).

En la figura 26, podemos observar que, en la ciudad de Puno, las temperaturas medias más bajas tienen lugar en el mes de julio a  $-1.3^{\circ}\text{C}$ , en pleno invierno, mientras que las más elevadas se sitúan en noviembre a  $16.8^{\circ}\text{C}$ .

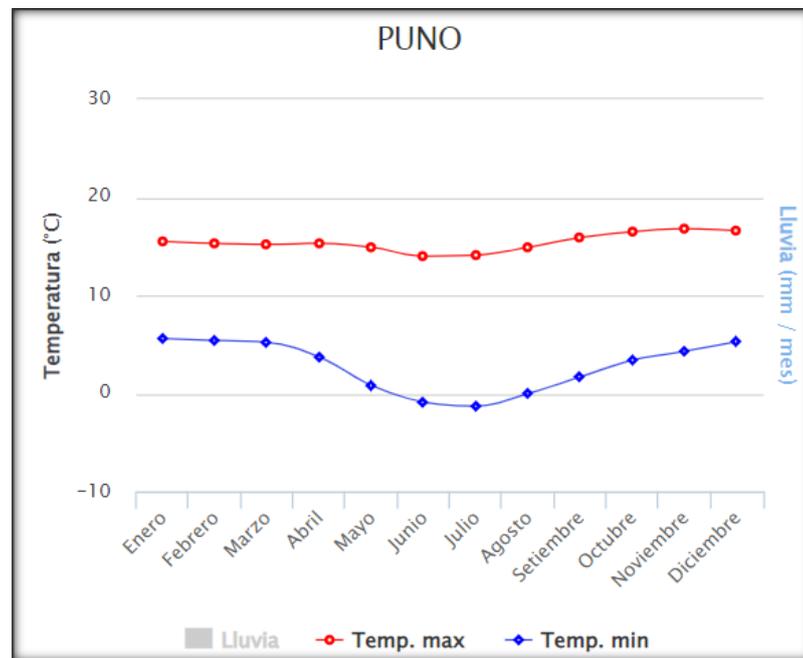


FIGURA 26: Promedio de temperatura. Fuente: SENAMHI, 2022.

#### 4.3.3. Precipitación

La precipitación, presentan períodos de alta frecuencia; estas representan el 55,5% del volumen que ingresa a la cuenca; por lo general, el período lluvioso se incrementa a partir del último trimestre del año y disminuye hacia fines del

primer trimestre del año siguiente, alcanzando la mayor intensidad en enero y el mínimo valor en junio; así mismo, las mayores desviaciones coinciden con la época de mayores precipitaciones, lo cual indica que en estos momentos también ocurren grandes variaciones por efectos de eventos El Niño o La Niña (Espino, Alburqueque, Segura, & Chura, 2017).

La Normales Climatológicas estándares (CLINO), son promedios de datos climatológicos calculados para periodos consecutivos de 30 años. En la figura 27, podemos observar que la máxima precipitación se da en el mes de enero con 158.7 mm/mes, con temperatura máximo de 16°C y mínimo de 5.9°C, y en el mes de junio y julio su precipitación es de 3mm/mes a 3.4mm/mes, con una temperatura máximo de 14.8 y mínima de -0.8°C (SENAMHI, 2021).

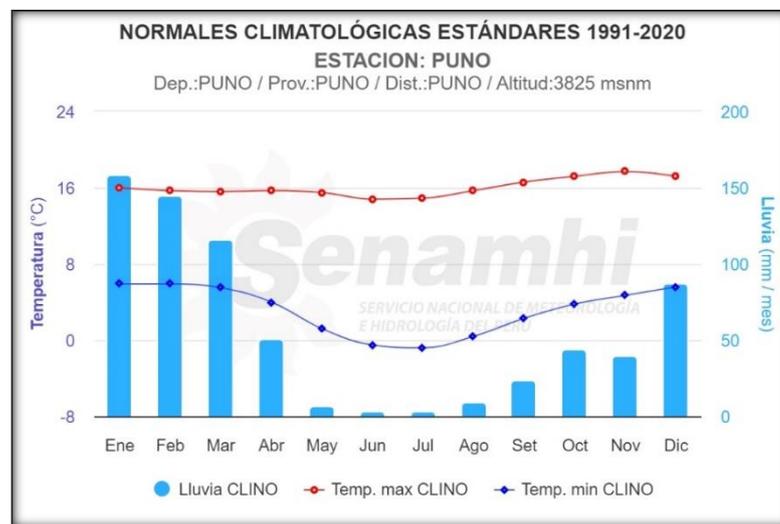


FIGURA 27: Promedios de datos climatológicos. Fuente: SENAMHI, 2021.

#### 4.3.4. Humedad relativa

Dentro de la zona de estudio en la estación Puno, la humedad relativa más alta comprende en el mes de febrero con un 75.32% y la humedad relativa más baja comprende en el mes de junio con 41.76% (SENAMHI, 2021).

#### 4.4. HIDROGRAFÍA DEL LAGO TITICACA

La hoya hidrográfica del Titicaca está conformada por varios ríos cuyo origen se encuentra en las cumbres andinas en los nevados de la cordillera oriental y occidental, y que vierten sus aguas en el lago Titicaca. Esta región hidrográfica se encuentra ubicada en la meseta del Collao, limitada por la cadena Oriental y Occidental de los Andes del Sur y el nudo de Vilcanota.

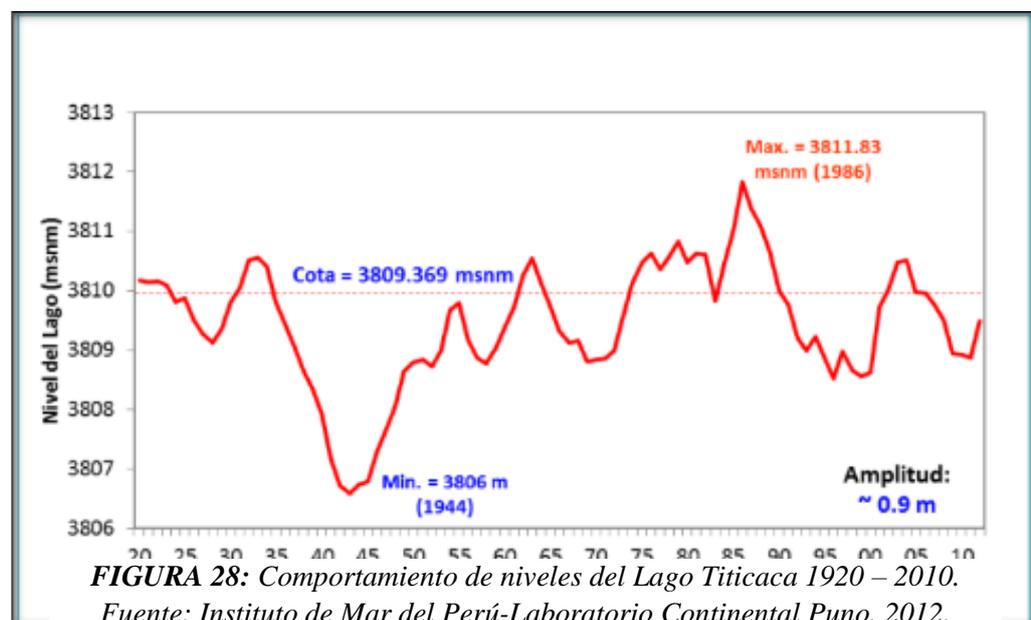
Al Lago Titicaca se dirigen varios ríos, y de él sale en único efluente, el Desaguadero, que conduce sus aguas a Bolivia. La del Titicaca es, pues, una cuenca endorreica. Los afluentes más importantes se hallan en territorio peruano: el Huancané (20 m<sup>3</sup>/s), el Ilave (38, 5 m<sup>3</sup>/s), el Coata (41, 5 m<sup>3</sup>/s) y el Ramis (75,6 m<sup>3</sup>/s).

#### 4.4.1. Nivel hídrico del Lago Titicaca

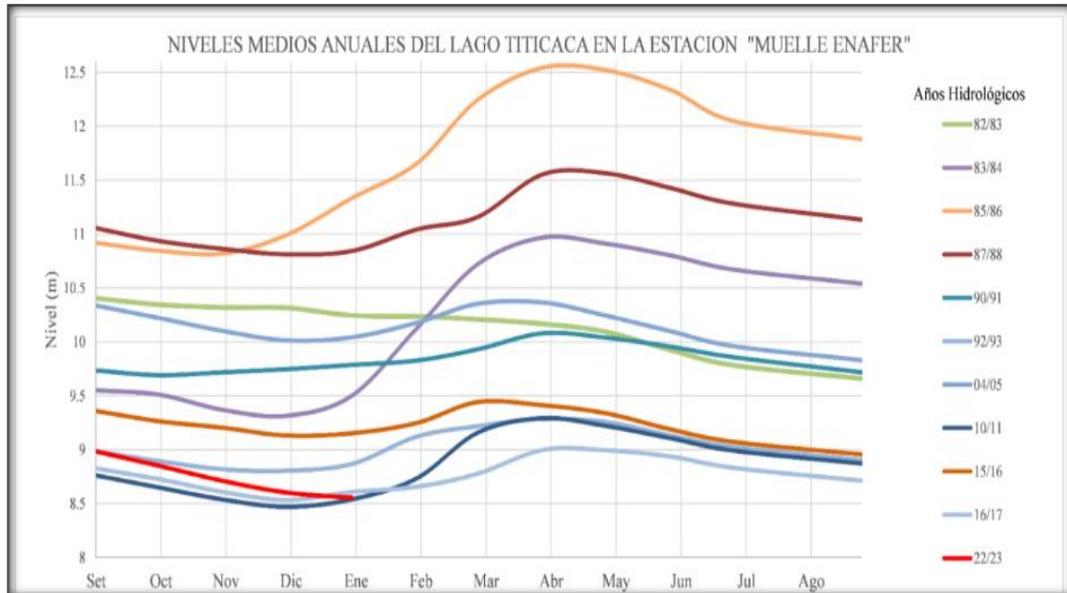
Un aspecto importante a considerar, es el nivel hídrico del lago Titicaca, donde está condicionado principalmente por la intensidad de las lluvias que se dan en cada época del año de manera interanual. Primordialmente las precipitaciones, alcanza el mayor hídrico a partir de noviembre a marzo, luego se inicia una disminución paulatina hacia fines de año.

La Figura 28, de acuerdo a los datos del Instituto del Mar del Perú, muestra los niveles medio del Lago Titicaca en la década de 1944, alcanzó el nivel más bajo a 3806.52 msnm, en tanto que a fines de la década de 1986 fue el mayor nivel a 3811.83 msnm, donde la amplitud interanual de variación del nivel fue de 5.31m (Línea Base Ambiental de la Cuenca del Lago Titicaca, 2013).

La variabilidad del nivel hídrico del lago está dada también por la evaporación, que representa el 93,93% de las perdidas en el balance hídrico del lago; sin embargo, este proceso ocurre de manera constante durante todo el año (Espino, Alburqueque, Segura, & Chura, 2017).



La Figura 29, muestra el análisis del comportamiento de los niveles de agua del Lago Titicaca, donde actualmente se viene observando un comportamiento con persistencia al descenso, debido al déficit de caudales principales. Actualmente la cota del lago es de 3808.5 msnm.



**FIGURA 29:** Niveles medios del Lago Titicaca. Fuente: SENAMHI; 2023.

#### 4.5. GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

La geología, está determinada por grandes procesos geodinámicos internos (orogénicos, sísmicos y volcánico) y externos (agentes externos atmosfera, agua, viento), en el cual estas van modificando el relieve.

##### 4.5.1. Unidades litoestratigráficas

Como resultado del levantamiento geológicos en el área de estudio, comprende en su gran mayoría materiales cuaternario, así como los depósitos lacustres, que afloran localmente en la micro cuenca del Lago Titicaca. Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio y zonas circundantes son las siguientes (Ver Anexo V: Mapa geológico local):



## MESOZOICO - CRETÁCEO

### 4.5.1.1. Formación Ayabacas (Kis-ay)

Alrededor de la ciudad de Puno, afloran bloques y estratos de calizas con una coloración gris, gris oscuras y beige, laminados e intercaladas con lutitas y dolomitas, además, se puede observar fisuras mineralizados de calcita, observados al NO del cerro Azoguine, como también al SO del área de estudio en los cerros Huaynapucara y Quiandene. En los alrededores y al NE de la ciudad universitaria UNAP se encuentra calizas laminares bastante replegadas con niveles de calizas micríticas negras en estratos fino de 0.50 m interestratificados con limoarcillitas rojas.

### 4.5.1.2. Formación Muñani (P-mu)

Esta unidad litológicamente está conformada por areniscas anaranjadas a marrón rojizos de grano finas a medias y limoarcillas con algunas intercalaciones de conglomerados. Esta unidad se observa al SE de la zona de estudio, con una litología de areniscas rojiza.

## CENOZOICO – PALEÓGENO

### 4.5.1.3. Grupo Puno (P-pu)

Esta unidad aflora al NW del Lago Titicaca y al SW del are de estudio, constituido principalmente de areniscas feldespática y arcosas con intercalaciones de conglomerados dentro de una matriz rojiza. Los conglomerados están constituidos por una gran variedad de clastos, en las cuales están incluidas las calizas, cuarcitas, venillas de cuarzo, jaspe, clastos volcánicos andesíticos, entre otros.

## CUATERNARIO

### 4.5.1.4. Depósitos Cuaternarios

Está constituido por una serie de depósitos, debido a numerosos acontecimientos geológicos, que se fueron formando a través del tiempo y cuyo proceso continua actualmente. Esta unidad, aflora aledaños al Lago Titicaca y litológicamente está constituida por sedimento de gravas, arenisca, arcilla, limos



y materia orgánica, así mismo, se ha podido establecer la naturaleza y a la descripción del relleno y distribución de los materiales recientes.

En el área de estudio está conformado por dos ambientes cuyo origen y formación se dan por accionar de agentes exógenos a lo largo del tiempo, teniendo las siguientes unidades:

#### ❖ **Depósitos aluviales (Qh-al)**

Se le conoce bajo este nombre a todos los depósitos recientes cuyos materiales han sido erosionados y transportados por las escorrentías y depositados a poca distancia de su lugar de origen, estos materiales se presentan poco consolidados y sus elementos no tienen ninguna selección, es decir trata de una mezcla heterogénea de rocas de diferentes tamaños y formas (angulosas a sub-redondeadas).

Se encuentran formando superficies subhorizontales, tales como las pampas de que rodean al Lago Titicaca, donde en la actualidad constituye parte de la expansión urbana de la ciudad de Puno. Estos depósitos están constituidos principalmente gravas mezclados e inconsolidados de subangulosas a subredondeadas, arenas y limoarenosos. En el cual estos gradan a depósitos lacustres intercalados en profundidad hacía la Bahía.

#### ❖ **Depósitos lacustres (Qh-la)**

Estos depósitos provienen por las corrientes lacustres y se ubican a riberas del lago Titicaca; son sedimentos de grano fino, razón por la cual, predominan las arcillas, limos y un alto contenido de materia orgánica, especialmente en zonas húmedas.

En zonas de inundación, se desarrolla el crecimiento de los microfitos y macrofitos, y producto de la descomposición se genera el exceso de materia orgánica en el sedimento, caracterizándose por presentar una coloración gris oscura. Estos depósitos forman suelos blandos a muy blandos.

**TABLA 20: Columna estratigráfica local**

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA		DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Holoceno	Dep. Lacustre	<b>Qh - la</b>	Limo, arcilla y materia orgánica.
			Dep. Aluvial	<b>Qh - al</b>	Gravas mezclados e inconsolidados de subangulosas a subredondeadas, arenas y limoarenosos.
	PALEÓGENO	Oligocena Eoceno Paleoceno	Gpo. Puno	<b>P - pu</b>	Areniscas feldespática y arcosas con intercalaciones de conglomerados dentro de una matriz rojiza.
MESOZOICO	CRETÁCEO	Superior	Gpo. Muñani	<b>P-mu</b>	Areniscas anaranjadas a marrón rojizos de grano finas a medias y limoarcillas.
		Inferior	Fma. Ayabacas	<b>Kis - ay</b>	Bloques y estratos de calizas con una coloración gris, gris oscuras y beige.

Fuente:

#### 4.6. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En la región del altiplano se ubica la micro cuenca de Puno, por lo que se encuentra muy influenciada por las características climáticas e hidrológicas circundantes, factores que han modelado la geoforma del lugar a lo largo del tiempo geológico.

La ciudad de Puno, presenta un relieve de baja a moderadas, donde en su mayor extensión presenta colinas altas, medias y bajas, mientras las planicies abarcan una porción pequeña, por otro lado, el lago abarca toda la Bahía Interior de Puno. Dentro de la zona no menos importante, se encuentra pocas montañas como el cerro Cancharani al Suroeste del área de estudio, siendo el modelo principal inicialmente de los fenómenos tectónicos acompañados por factores erosivos, meteorización físico- mecánico, procesos eólicos que son las principales agentes de denudación existente. En nuestra área de estudio, se distingue las siguientes unidades geomorfológicas (Ver Anexo V: Mapa geomorfológico):



#### **4.6.1. Colina baja**

Esta unidad geomorfológica aflora en la isla Espinar, con elevaciones menores a 200 m, con cimas más amplias y redondeada con pendiente menor a los 8%. Esta unidad está constituida por areniscas anaranjadas a marrón rojizos de grano finas a medias y limoarcillas, de la Formación Muñani.

#### **4.6.2. Pie de monte**

Son acumulaciones de materiales inconsolidados que están situados entre los contactos de laderas y planicies, generalmente se presenta en superficies ligeramente inclinado, con depósitos que descienden hacia las llanuras.

#### **4.6.3. Planicie**

Las planicies sedimentarias son el rasgo principal del Altiplano, se encuentran al sureste de la bahía de Puno, se caracteriza por presentar superficies planas a un suave pendiente, provenientes por la erosión, descomposición, degradación y transporte, interviniendo los agentes meteorológicos como la temperatura, agua, vientos, lluvias y heladas que se da en el área de estudio, susceptibles a inundaciones.

#### **4.6.4. Lago**

El Lago Titicaca ocupa una fosa intermontañosa de origen tectónico, asimétrica, con la parte más profunda a más de 250 m. y localizada hacia la Cordillera Oriental. Su área es de 8.400 km<sup>2</sup>, equivalentes al 5,8% de la región (Diagnóstico Ambiental del Sistemas Titicaca, 2000).

#### **4.6.5. Litoral lacustre y bofedales**

La zona litoral de un lago corresponde a un espacio de interface entre el medio terrestre de la cuenca y los procesos de movimientos de las aguas del lago. Los bofedales son zonas de vegetación, poco extensas desarrolladas en suelos hidromorfos, húmedos o empapados, próximos a lagos, donde se observa a orillas del Lago Titica. Sus características biológicas varían con el grado de



humedad y permanecía en el tiempo, provenientes de precipitaciones pluviales y aguas subterráneas.

#### 4.6.6. Antrópico

Esta unidad se caracteriza por los cambios que sufrió el relieve, intervenidas por las manos del hombre, las cuales fueron depredadas y remodeladas construyendo viviendas, donde hoy en día se ubica la ciudad de Puno. Así mismo, podemos observar desmontes y rellenos a orillas del lago, realizados por los vecinos aledaños a la zona de estudio.

#### 4.7. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

La geología estructural se encarga de analizar las diferentes estructuras geológicas que se forman por los esfuerzos y movimientos de las placas tectónicas, permitiendo conocer la distribución y posición de los horizontes rocosos, deformaciones ocurridas durante uno o más pulsos del ciclo andino (Fase Orogénica Andina).

La configuración de la Bahía Interior de Puno y la micro cuenca, está relacionada con el sistema de fallamiento y plegamientos existentes, en donde estas, contribuyen zonas de debilidad donde se concentran los procesos de erosión, estructuralmente está controlado por una posible pequeña fosa tectónica.

Dentro de la zona podemos describir 4 fallas principales, entre ellas tenemos:

- ❖ Falla Laraqueri: Es una falla regional paralelo a la vía Puno – Moquegua con una dirección de NE.
- ❖ Falla Itapalluni: Esta falla está ubicado al SW del área de interés, con una dirección de NW.
- ❖ Falla Cancharani: Es una falla transversal conformada por un sistema definido, con una dirección de NE-SW.
- ❖ Falla Pichacani: Esta falla está ubicado al SW del área de interés, con una dirección de NW-SE



#### 4.8. GEOLOGÍA DE LUGAR

En la zona se distingue suelos aluviales, constituidos de arenas y arcillas limosas de color marrón a gris oscuro, seguidamente se observa suelos lacustres cubiertos por materia orgánica, caracterizado por materiales arcillosos en condición blanda de color gris oscuro.

Hacia la orilla del lago se describen suelos lacustres en menor área de extensión de manera longitudinal y paralelo a la orilla del lago, está constituido por restos orgánicos que están constantemente inundados por aguas del lago; a su vez se caracteriza una zona de suelos fluvio lacustre saturados por aguas de escorrentía superficial de poca gradiente, lo cual ha generado bofedales que presenta limos inorgánicos de color gris oscuro.



## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **5.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL TERRENO**

Las propiedades físico y mecánicas del área de estudio se evaluaron geotécnicamente, en cual las propiedades físicas de los suelos son las que describen el estado que guarda las partículas componentes del suelo, que definen su apariencia, mientras la mecánica son las que describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente, entendiendo las condiciones que limitan su aprovechamiento y los problemas potenciales que pueden presentarse para la elaboración de un proyecto. Estas propiedades se determinan bajo las normas según lo establecido en American Society For Testing and Materials (ASTM), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Por ende, algunos suelos no pueden soportar la carga que ejerce en cualquier estructura, de tal razón es importante evitar esto en suelos débiles, sueltos o expansivos y trabajar en mejorar su calidad.

A partir de sus propiedades de suelo, se determina las características geotécnicas, comprendiendo si el terreno es bueno o malo para realizar la construcción de la infraestructura vial de la avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno.

##### **5.1.1. Trabajo de campo**

###### **5.1.1.1. Exploración de campo**

La exploración directa e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura. El propósito de la exploración del terreno de fundación, es obtener información clara y determinar las condiciones de los materiales existentes.

Dentro de esta etapa en exploración de campo, se realizó el reconocimiento del terreno, comprendiendo 2+750 km de longitud, en el cual el procedimiento consistió la observación visual de los diferentes tipos de materiales, distribución y ubicación de calicatas de forma alterna sobre el área, así como la anotación de los aspectos más resaltantes de la zona de estudio, efectuándose así la excavación y la toma de muestra para realizar ensayos de laboratorio.

El espaciamiento entre calicatas se determinó de acuerdo a lo estipulado en el Manual de Carreteras del MTC en donde especifica lo siguiente: Generalmente las exploraciones están espaciadas entre 250 m., pero pueden estar más próximas dependiendo de la topografía de la zona de estudio; cada calicata deberá obtener de cada estrato muestras representativas y cantidad suficiente de suelo, con el objeto de determinar las características físico-mecánicas de los materiales, así mismos, se llevarán a cabo investigaciones mediante la ejecución de pozos exploratorios o calicatas no menor de 1.5 m de profundidad.

#### 5.1.1.2. Ejecución de calicatas

Se realizó la excavación de calicatas y la recolección de muestras de suelos, con la finalidad de evaluar y establecer las propiedades físicas – mecánicas del terreno de fundación a lo largo del trazo (Ver Anexo V: Mapa de ubicación):



**FIGURA 30:** Distribución y ubicación de calicatas en la Avenida Costanera Sur.  
Fuente: Elaboración propia.

Este sistema de exploración nos permitió analizar directamente los diferentes estratos encontrados, lo cual nos permite visualizar la estratigrafía y el establecimiento del nivel freático de cada calicata. Para complementar, se tomaron muestras alteradas de cada estrato atravesado, las cuales se tomaron para realizar los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y determinar la capacidad de soporte del Suelo (CBR).

En la Tabla 21, muestra la ubicación y la profundidad de las 12 calicatas, realizadas cada 250 metros de longitud en forma alternada, en la modalidad a cielo abierto, las mismas que fueron ubicadas convenientemente y con profundidad desde 1.40 m. a 3.60 m (Ver Anexo III: perfil estratigráfico). El fin de llegar a estas profundidades fue llegar al suelo natural puesto que en el área existe rellenos recién.

***TABLA 21: Ubicación y profundidades de calicatas***

CALICATAS	COORDENADAS UTM – WGS82 – 19S		LADO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
	NORTE	ESTE			
C – 01	8 247 437	391 531	L-IZQ	0.00 - 2.50	1.60
C – 02	8 247 357	391 595	L-DER	0.00 - 2.50	1.50
C – 03	8 247 290	391 675	L-IZQ	0.00 - 2.80	2.50
C – 04	8 247 224	391 761	L-DER	0.00 - 3.40	2.50
C – 05	8 247 185	391 823	L-IZQ	0.00 - 3.10	1.80
C – 06	8 247 137	391 906	L-DER	0.00 – 2.80	1.30
C – 07	8 247 096	392 011	L-IZQ	0.00 - 3.40	1.50
C – 08	8 247 059	392 107	L-DER	0.00 - 3.60	2.40
C – 09	8 247 014	392 192	L-IZQ	0.00 - 1.40	1.40
C – 10	8 246 980	392 287	L-DER	0.00 - 2.30	2.10
C – 11	8 246 940	392 368	L-IZQ	0.00 - 2.40	2.10
C – 12	8 246 893	392 432	L-DER	0.00 - 2.50	2.20

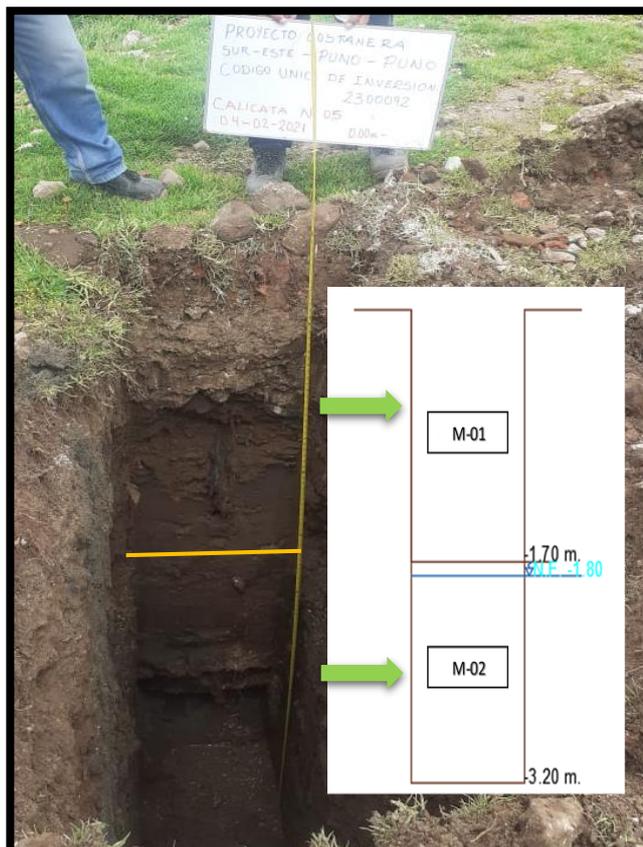
### 5.1.1.3. Descripción visual y muestreo

Previo al proceso del muestreo, se realizó el registro de cada excavación, indicando las principales características de los materiales presentes en la secuencia de los estratos que la constituyen y la profundidad del nivel freático (Descripción visual de suelos, Norma ASTM D-2487). En gran mayoría se determinó la existencia de dos estratos por calicata, con un espesor variado de 0.50m a 2.50m. Así mismo, se efectuó la toma de muestras inalteradas, las que fueron identificadas convenientemente y embaladas en bolsas de polietileno, en el cual cada muestra fue marcada con su respectivo código de identificación detallando el nombre del proyecto de investigación, número de calicata, características del suelo y la fecha de extracción para los respectivos ensayos de laboratorio. A continuación, se describe el perfil estratigráfico de la siguiente manera:

#### ❖ CALICATA N°05

Fuente:

Se ejecutó a una profundidad de 3.20m, excavado del lado izquierdo del trazo, en el cual presento dos estratos:



#### Descripción:

En la calicata 05, podemos determinar que existe dos estratos a una profundidad de 3.20m. y que el nivel freático se encuentra a 1.80m.

**M-01:** El primer estrato está conformado por gravas variadas entre 2cm a 5cm y material fino de coloración pardo, con un espesor de 1.70m.

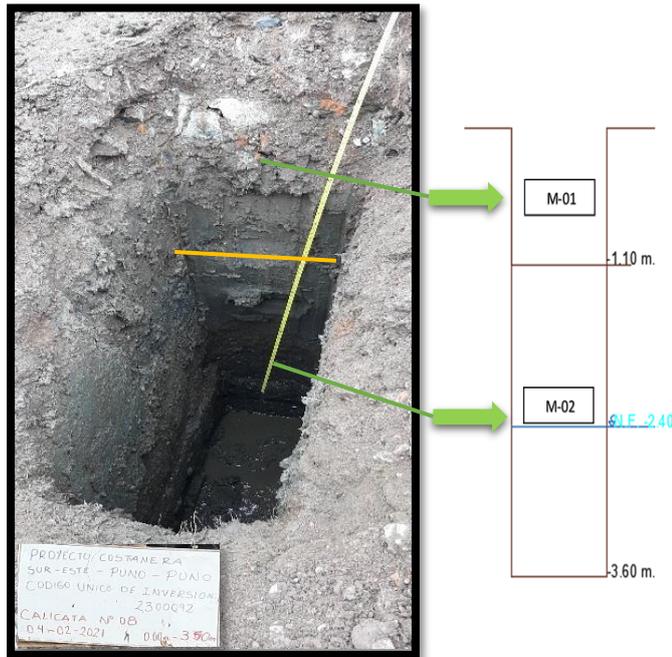
**M-02:** El segundo estrato está conformado por materiales finos de coloración gris oscuro, con un espesor de 1.50m.



**FIGURA 31:** Corte transversal de la calicata 05. Fuente: Elaboración propia.

❖ **CALICATA N°08**

Se ejecutó a una profundidad de 3.60m, excavado del lado derecho del trazo, en el cual presento dos estratos:



**Descripción:**

En la calicata 08, podemos determinar que existe dos estratos a una profundidad de 3.60m. y que el nivel freático se encuentra a 2.40m.

**M-01:** El primer estrato está conformado por gravas variadas entre 1cm a 4cm y material fino de coloración gris, con un espesor de 1.10m.

**M-02:** El segundo estrato está conformado por materiales finos de coloración de gris oscuro, con un espesor de 2.50m.

**FIGURA 32:** Corte transversal de la calicata 08. Fuente: Elaboración propia.

❖ **CALICATA N°10**

Se ejecutó a una profundidad de 2.30m, excavado del lado derecho del trazo, en el cual presento tres estratos:



**FIGURA 33:** Corte transversal de la calicata 10.  
*Fuente: Elaboración propia).*

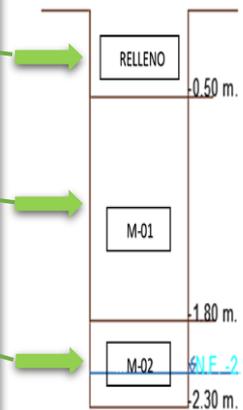
### Descripción:

En la calicata 10, podemos determinar que existe tres estratos a una profundidad de 2.30m. y que el nivel freático se encuentra a 2.10m.

**Relleño:** Material de escombros de construcciones cercanas depositados recientemente, con un espesor de 0.50m.

**M-01:** Conformado por material fino con presencia de arenillas con una coloración gris oscuro y un espesor de 1.30m.

**M-02:** Conformado por materiales finos de coloración gris oscuro, con un espesor de 0.50m.



### 5.1.2. Ensayo de laboratorio

Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos INGEOPLESKA C/&C E.I.R., siguiendo las normas establecidas por American Society For Testing and Materials (ASTM), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Con las muestras obtenidas en campo, se realizaron ensayos estándar y especiales, en el cual comprende la determinación de las propiedades física y mecánica de suelos, dentro de ella comprende la clasificación de suelo con el contenido de humedad natural, análisis granulométrico por tamizado, Clasificación SUCS y clasificación AASHTO, límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR).

#### 5.1.2.1. Ensayos estándar

Estos ensayos permiten determinar las propiedades físicas de los suelos, en el cual busca agrupar y clasificar los diferentes tipos de suelos en grupos de familias, con características y propiedades comunes por los métodos SUCS y/o AASHTO. Los ensayos estándares consiste en análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico) y contenidos de humedad.

**TABLA 22: Normas de ensayos estándar**

ENSAYO	NORMAS INTERNACIONALES		NORMAS PERUANAS
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>			
Contenido de humedad	ASTM D - 2216	AASHTO T 265	MTC E 108
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D - 422	AASHTO T 88	MTC E 107
Límite líquido	ASTM D - 4318	AASHTO T 89	MTC E 110
Límite plástico	ASTM D - 4318	AASHTO T 90	MTC E 111

Fuente:

## ❖ Contenido de humedad

El ensayo del contenido de humedad se realiza para determinar la relación entre la cantidad de agua y el peso del suelo seco. Esta prueba se expresa como un porcentaje y debe realizarse lo antes posible después de tomar la muestra. Para preservar la humedad, las muestras se colocan en bolsas herméticas en el momento de la extracción de los estratos.

Si el contenido de humedad natural es igual o menor que el contenido de humedad óptimo, el suelo se puede compactar normalmente. Si es mayor, se propondrán varias soluciones, como aumentar la energía de compactación o cambiar el material saturado. La descripción del proceso del ensayo se detalla en el Capítulo III.

La Tabla 23, muestra los resultados obtenidos respecto al contenidos de humedad de las diferentes calicatas, en donde:

- Los estratos inferiores de la calicata 01, 02, 03 y 09, presenta un contenido de humedad de 10.90% a 25.23% y las demás calicatas presenta de un 38.17% a 70.32%, en el cual, estos resultados se deben a la presencia del nivel freático y materiales finos caracterizándose por su alta capacidad de retención de agua.
- Los estratos inferiores de la calicata 04, 06, 08, 10 y 12 el contenido de humedad natural está en un 38.17% a 67.46% (Ver Anexo II - A).

**TABLA 23: Resultados del contenido de humedad**

Ubicación					Contenido de humedad %
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Espesor de estrato (m)	Lado	
C-1	M-1	2.50	1.50	L - IZQ	17.52
	M-2		0.50		25.23
C-2	M-1	2.50	1.40	L-DER	11.06
	M-2		0.60		18.62
	M-3		0.50		25.10
C-3	M-1	2.80	2.00	L - IZQ	15.16



	M-2		0.80		17.33
C-4	M-1	3.40	1.50	L-DER	13.46
	M-2		1.90		46.44
C-5	M-1	3.10	1.70	L - IZQ	14.02
	M-2		1.40		70.32
C-6	M-1	2.80	2.00	L-DER	29.20
	M-2		0.80		54.53
C-7	M-1	3.40	1.10	L - IZQ	12.08
	M-2		2.30		69.90
C-8	M-1	3.60	1.10	L-DER	9.27
	M-2		2.50		67.46
C-9	M-1	1.40	0.40	L - IZQ	7.37
	M-2		1.00		10.90
C-10	M-1	2.30	1.30	L-DER	36.52
	M-2		0.50		38.17
C-11	M-1	2.40	1.10	L - IZQ	36.80
	M-2		0.30		52.53
C-12	M-1	2.50	1.00	L-DER	36.78
	M-2		0.40		50.75

Fuente:

#### ❖ Análisis granulométrico por tamizado

Este modo operativo describe el método para determinar la gradación y/o distribución del tamaño de partículas del suelo existente, por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200). La separación entre gravas y arenas es en el tamiz Nº4 y entre arenas y limos en el tamiz Nº 200.

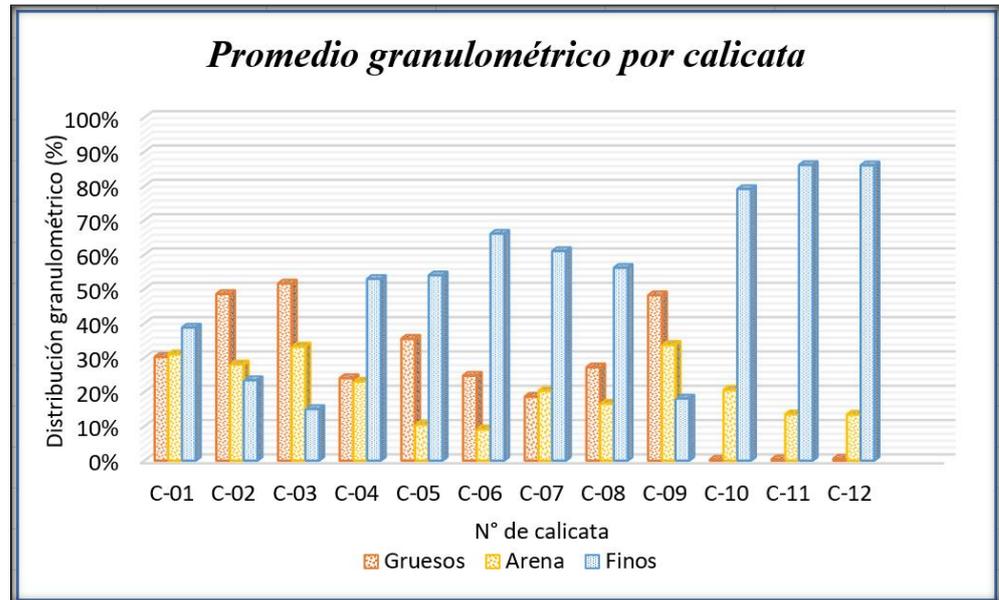
La Tabla 24 muestra los resultados del análisis granulométrico; en el cual en los estratos inferiores de la calicata 01, 02, 03 y 09 presenta principalmente materiales gruesos en un 62.82%; por otro lado, en las demás calicatas presenta principalmente materiales finos en un 82.34% a 98.36%, debiéndose a que el área de estudio se encuentra en un depósito lacustre (Ver Anexo II - B).

**TABLA 24: Resultados del análisis granulométrico por tamizado**

Ubicación					Distribución granulométrica %		
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Espesor de estrato (m)	Lado	Gruesos	Arena	Finos
C-1	M-1	2.50	1.50	L - IZQ	35.57	29.27	35.16
	M-2		0.50		24.86	32.77	42.37
C-2	M-1	2.50	1.40	L-DER	51.13	33.88	14.99
	M-2		0.60		56.17	11.89	31.94
	M-3		0.50		38.37	38.28	23.35
C-3	M-1	2.80	2.00	L - IZQ	40.40	44.72	14.72
	M-2		0.80		62.82	21.83	15.35
C-4	M-1	3.40	1.50	L-DER	46.97	30.99	22.04
	M-2		1.90		1.05	15.08	83.87
C-5	M-1	3.10	1.70	L - IZQ	71.03	16.93	12.04
	M-2		1.40		0.00	4.09	95.91
C-6	M-1	2.80	2.00	L-DER	49.27	12.64	38.09
	M-2		0.80		0.22	5.68	94.10
C-7	M-1	3.40	1.10	L - IZQ	37.29	38.22	24.49
	M-2		2.30		0.00	2.39	97.61
C-8	M-1	3.60	1.10	L-DER	54.37	31.63	14.00
	M-2		2.50		0.00	1.64	98.36
C-9	M-1	1.40	0.40	L - IZQ	44.07	39.29	16.64
	M-2		1.00		52.29	28.22	19.49
C-10	M-1	2.30	1.30	L-DER	0.17	23.92	75.91
	M-2		0.50		0.35	17.31	82.34
C-11	M-1	2.40	1.10	L - IZQ	0.12	21.35	78.53
	M-2		0.30		0.62	5.68	93.70
C-12	M-1	2.50	1.00	L-DER	0.66	21.82	77.52
	M-2		0.40		0.39	5.05	94.56

Fuente:

La Figura 34 muestra un promedio del análisis granulométrico, determinando que en el área de estudio predomina principalmente un material fino.



**FIGURA 34:** Gráfico del promedio granulométrico por calicata.  
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 35, muestra los resultados de un promedio del análisis granulométrico de estratos superiores, determinando que existe mayormente materiales gruesos, esto se debe a que existe materiales de relleno recientes.



**FIGURA 35:** Gráfico del promedio granulométrico de estratos superiores. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 36, representa los resultados de un promedio del análisis granulométrico de estratos inferiores, determinando que existe principalmente un 70% de material fino y con ello se deduce que en la zona de estudio presenta primordialmente materiales finos debido a que el área de estudio se encuentra en un depósito lacustre.



**FIGURA 36:** Gráfico del promedio granulométrico de estratos inferiores.  
Fuente: Elaboración propia.

#### ❖ Límites de consistencia

Estos ensayos componen un valor importante que va a determinar los grupos de las partículas de suelos, así mismo ver el nivel de plasticidad. El índice de plasticidad es la diferencia entre los valores de Limite Líquido y Limite Plástico.

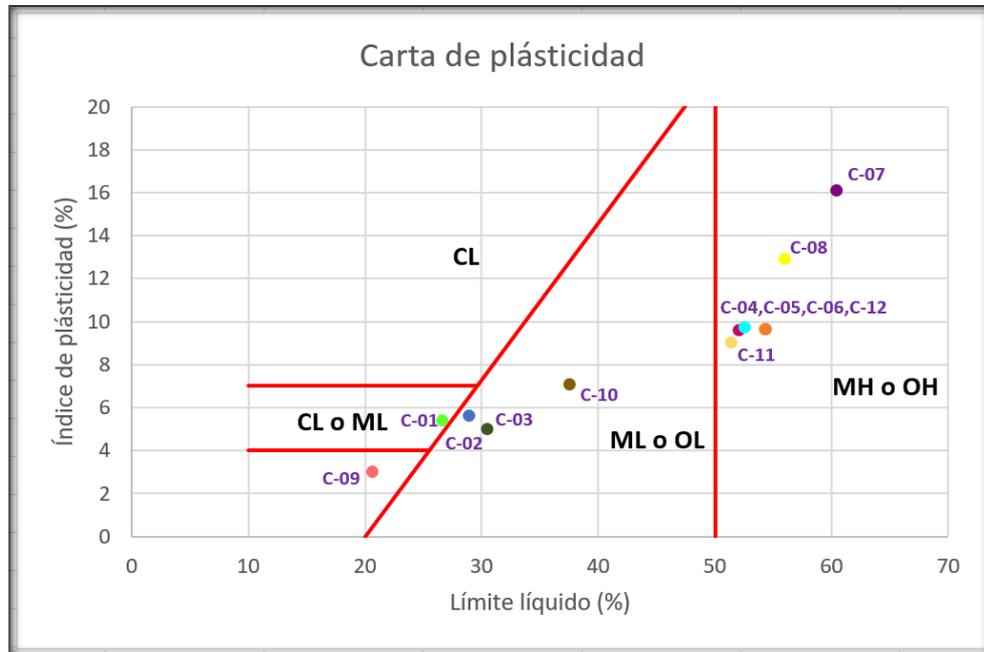
La Tabla 25, muestra los resultados de índices de consistencia de cada estrato presentes en cada calicata, donde limite líquido y el índice de plasticidad determina el tipo de suelos. En los estratos inferiores de las calicatas 04, 06, 08 y 12, nos determina como un suelo limoso de alta plasticidad (MH), debido a que presenta un límite líquido de 47.93% a 56.09% y un índice de plasticidad de 9.32% a 12.86%, estos resultados se deben por el gran contenido de humedad (Ver Anexo II – C).

**TABLA 25: Resultados de límites de consistencia**

Ubicación					Límites de consistencia %		
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Espesor de estrato (m)	Lado	Limite liquido%	Limite plástico	Índice de plasticidad
C-1	Relleno	2.50	0.50	L - IZQ	-	-	-
	M-1		1.50		27.83	21.18	6.65
	M-2		0.50		26.66	21.28	5.38
C-2	M-1	2.50	1.40	L-DER	21.18	16.17	5.01
	M-2		0.60		30.03	22.52	7.51
	M-3		0.50		29.00	23.42	5.58
C-3	M-1	2.80	2.00	L - IZQ	0.00	0.0	0.0
	M-2		0.80		30.58	25.62	4.96
C-4	M-1	3.40	1.50	L-DER	27.61	25.15	2.46
	M-2		1.90		47.93	38.61	9.32
C-5	M-1	3.10	1.70	L - IZQ	27.61	25.15	2.46
	M-2		1.40		54.35	44.72	9.63
C-6	M-1	2.80	2.00	L-DER	32.97	27.12	5.85
	M-2		0.80		52.11	42.54	9.57
C-7	M-1	3.40	1.10	L - IZQ	25.35	21.03	4.32
	M-2		2.30		60.50	44.44	16.06
C-8	M-1	3.60	1.10	L-DER	20.53	18.39	2.14
	M-2		2.50		56.09	43.23	12.86
C-9	M-1	1.40	0.40	L - IZQ	0.00	0.00	0.00
	M-2		1.00		20.75	17.79	2.96
C-10	Relleno	2.30	0.50	L-DER	-	-	-
	M-1		1.30		40.35	34.00	6.35
	M-2		0.50		37.60	30.54	7.06
C-11	Relleno	2.40	1.00	L - IZQ	-	-	-
	M-1		1.10		41.62	35.17	6.45
	M-2		0.30		51.45	42.48	8.97
C-12	Relleno	2.50	1.10	L-DER	-	-	-
	M-1		1.00		40.63	34.25	6.38
	M-2		0.40		52.63	42.95	9.68

Fuente:

La Figura 37 muestra los resultados de índices de consistencia de los estratos inferiores de cada calicata, determinando que principalmente presenta limos de mediana a alta plasticidad, con un límite líquido de 20.67% a 60.50% y un índice de plasticidad que varía de 2.96% a 16.06%. En las calicatas 04, 05, 06, 07, 08, 11 y 12 su plasticidad es mucho mayor a los estratos superiores, que haciende a un 16.06%, debido a que presenta un alto limite líquido.



**FIGURA 37:** Gráfico de índice de consistencia de los estratos inferiores.  
Fuente: Elaboración propia.

#### ❖ Clasificación de suelos por método SUCS Y AASHTO

Los diferentes sistemas para clasificación agrupan los suelos en base a sus propiedades comunes, tales como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. La clasificación del sistema SUCS, se emplea diferentes símbolos como identificación para cada tipo de suelos, mientras el sistema AASHTO se clasifican en 7 grupos principales desde el A-1 al A-7.

El Tabla 26, muestra los resultados de la clasificación de suelos por el método SUCS Y AASHTO; en base a sus propiedades físicas determinadas, las calicatas 04, 06, 08, 10 y 12 presenta suelos limos de baja y alta plasticidad (Ver Anexo II – B).

**TABLA 26: Resultados de clasificación de suelos por el método SUCS Y AASHTO**

Ubicación					Clasificación de suelos	
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Espesor de estrato (m)	Lado	SUCS	AASHTO
C-1	Relleno	2.50	0.50	L - IZQ	-	-
	M-1		1.50		GM-GC	A-4(0)
	M-2		0.50		SM-SC	A-4(1)
C-2	M-1	2.50	1.40	L-DER	GM-GC	A-1-a(0)
	M-2		0.60		GC	A-2-A(0)
	M-3		0.50		GM	A-1-b(0)
C-3	M-1	2.80	2.00	L - IZQ	SM	A-1-b(0)
	M-2		0.80		GM	A-1-b(0)
C-4	M-1	3.40	1.50	L-DER	GM	A-1-b(0)
	M-2		1.90		ML	A-5(10)
C-5	M-1	3.10	1.70	L - IZQ	GM	A-1-a(0)
	M-2		1.40		MH	A-5(11)
C-6	M-1	2.80	2.00	L-DER	GM	A-4(1)
	M-2		0.80		MH	A-5(10)
C-7	M-1	3.40	1.10	L - IZQ	SM-SC	A-1-b(0)
	M-2		2.30		MH	A-7-5(14)
C-8	M-1	3.60	1.10	L-DER	GM	A-1-a(0)
	M-2		2.50		MH	A-7-5(12)
C-9	M-1	1.40	0.40	L - IZQ	GM	A-1-b(0)
	M-2		1.00		GM	A-1-b(0)
C-10	M-1	2.30	1.30	L-DER	ML	A-5(8)
	M-2		0.50		ML	A-4(8)
C-11	M-1	2.40	1.10	L - IZQ	ML	A-5(8)
	M-2		0.30		MH	A-5(10)
C-12	M-1	2.50	1.00	L-DER	ML	A-5(8)
	M-2		0.40		MH	A-5(11)

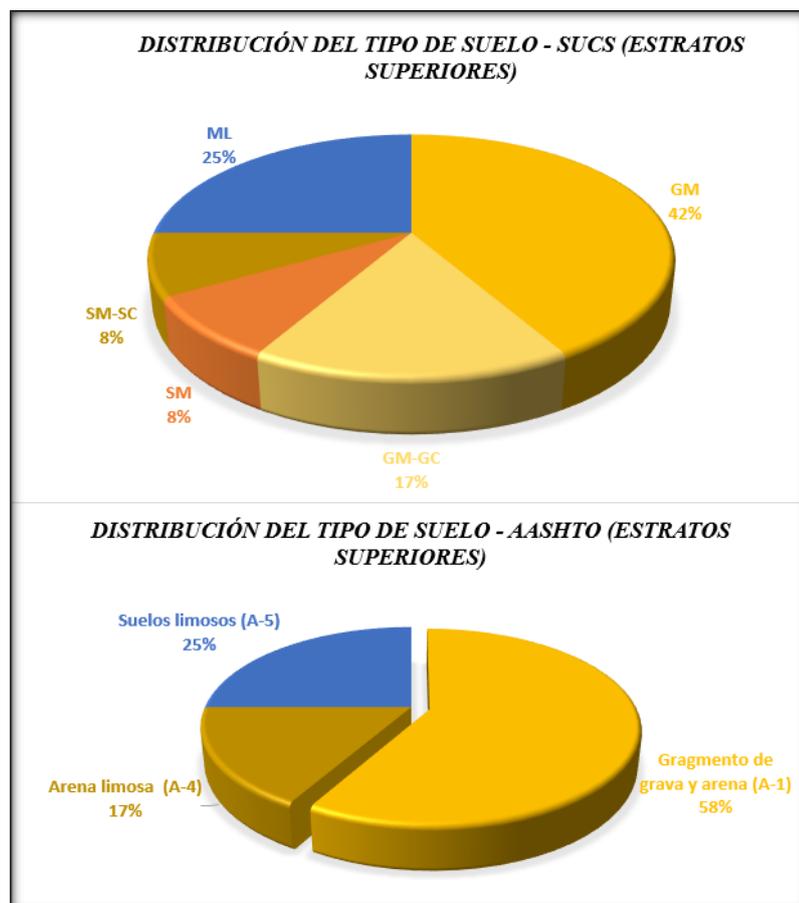
Fuente:

En base a sus propiedades físicas determinadas en estratos superiores, la Figura 38, muestra el promedio de resultados según la clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO, deduciendo lo siguiente:

**Clasificación de suelos por el método SUCS:** El 42% está conformado por grava limosa (GM). el 17% está conformado por grava limo arcillosa (GM-GC), el 8% está conformado por arena limosa (SM), el 8% está conformado por arena limo arcillosa (SM-SC) y el 25% está conformado por limos de baja plasticidad (ML).

**Clasificación de suelos por el método AASHTO:** El 58% está conformado por fragmento de grava y arena perteneciendo al grupo A-1, el 17% está conformado por arena limosa perteneciendo al grupo A-4 y el 25% está conformado por suelos limosos perteneciente al grupo A-5.

Realizando una comparación de ambos métodos, se deduce que en los estratos superiores existe principalmente suelos gravoso y arenoso.



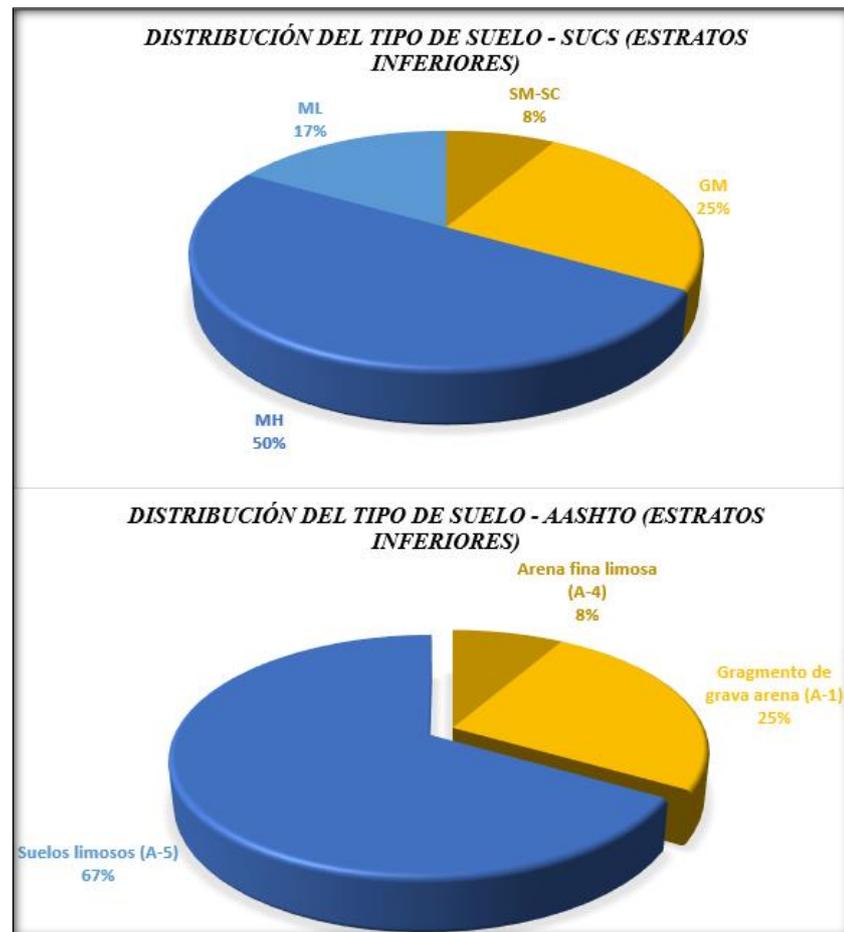
**FIGURA 38:** Distribución del tipo de suelo según la clasificación SUCS y AASHTO - estratos superiores. Fuente: Elaboración propia.

En base a sus propiedades físicas determinadas en estratos inferiores, la Figura 39, muestra el promedio de resultados según la clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO, deduciendo lo siguiente:

**Clasificación de suelo por el método SUCS:** El 25% está conformado por grava limosa (GM), el 8% está conformado por arena limo arcillosa (SM-SC), el 17% está conformado por limos de baja plasticidad (ML) y el 50% está conformado por limos de alta plasticidad (MH).

**Clasificación de suelo por el método AASHTO:** El 25% está conformado por fragmento de grava y arena perteneciendo al grupo A-1, el 8% está conformado por arena limosa perteneciendo al grupo A-4 y el 67% está conformado por suelos limosos perteneciente al grupo A-5.

Realizando una comparación de ambos métodos, se deduce que en los estratos inferiores existe principalmente suelos limosos de baja a alta plasticidad.



**FIGURA 39:** Distribución del tipo de suelo según la clasificación SUCS y AASHTO - estratos inferiores. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos en laboratorio, determinamos que en el área de estudio predomina principalmente suelos limosos de baja a alta plasticidad.

### 5.1.2.2. Ensayos especiales

Estos ensayos, están orientado a determinar las propiedades mecánicas a fin obtener y determinar la resistencia de los suelos o comportamiento frente a las sollicitaciones de carga, en el cual consiste realizar el Proctor modificado y el California Bearing Ratio (CBR).

**TABLA 27: Normas de ensayos especiales**

ENSAYO	NORMAS INTERNACIONALES		NORMAS PERUANAS
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
Proctor modificado	ASTM D-1557	AASHTO T 180	MTC E 115
California Bearing Ratio (CBR)	ASTM D-1883	AASHTO T 193	MTC E 132

Fuente:

#### ❖ Proctor modificado

Este ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un molde definido, haciendo varias la humedad para determinar la relación entre la densidad seca máxima y la humedad optima del suelo existente a determinada energía de compactación.

El ensayo se realizó específicamente para 5 calicata entre ellas la calicata C-04, C06, C-08, C-10 y C-12.

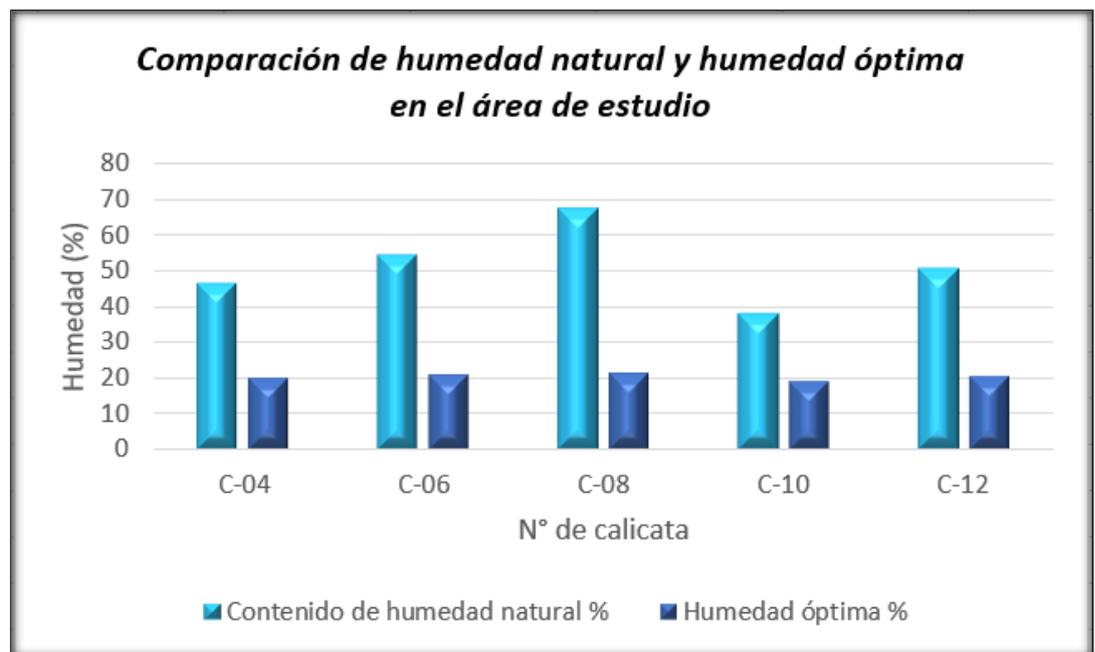
En la Tabla 28, muestra los resultados del Proctor modificado realizados en estratos inferiores en calicatas ya mencionado, determinado que su densidad máxima varía entre 1.60gr/cm<sup>3</sup> a 1.65gr/cm<sup>3</sup> y que humedad optima se encuentra en un 19% a 21.50%., deduciendo que sus humedades naturales son mayores a las humedades óptimas (Ver Anexo II - D).

**TABLA 28: Resultado del ensayo Proctor modificado**

Ubicación			Contenido de humedad natural %	Clasificación de suelos		Proctor modificado	
Calicata	Muestra	Profundidad (m)		SUCS	AASHTO	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %
C-4	M-2	3.40	46.44	ML	A-5(10)	1.640	20.00
C-6	M-2	2.80	54.53	MH	A-5(10)	1.600	21.00
C-8	M-2	3.60	67.46	MH	A-7-5(12)	1.600	21.30
C-10	M-2	2.30	38.17	ML	A-4(8)	1.650	19.00
C-12	M-2	2.50	50.75	MH	A-5(11)	1.615	20.50

Fuente:

En la Figura 40, se aprecia una comparación del contenido de humedad natural y la humedad óptima de gua de las calicatas 04, 06, 08, 10 y 12, y los resultados que muestra tiene una gran importancia debido a que el contenido de humedad natural supera a la humedad óptima, generando así, problemas en cuanto a su comportamiento de los suelos por la presencia principalmente del nivel freático.



**FIGURA 40:** Gráfico de comparación del contenido de humedad natural y humedad óptima.  
Fuente: Elaboración propia.

### ❖ California Bearing Ratio (CBR)

El California Bearing Ratio (CBR), es una medida a la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, se realiza generalmente sobre suelo preparado en el laboratorio bajo condiciones determinadas de humedad óptima y densidad máxima.

El presente proyecto de investigación, considera el ensayo CBR como el más importante para demostrar su hipótesis, en el cual tiene como objetivo determinar si el terreno de fundación es o no favorables para la construcción de la Avenida Costanera Sur, determinando su porcentaje de expansión y su valor de CBR.

En la Tabla 29, muestra los resultados del CBR, determinando que la capacidad de soporte del suelo no establece su capacidad de resistencia y durabilidad, ya que presenta un CBR menor al 10% y una expansión entre 50.35% a 159.31%, esto se debe por el alto contenido de humedad y la existencia de materiales finos de baja a alta plasticidad (Ver Anexo II - E).

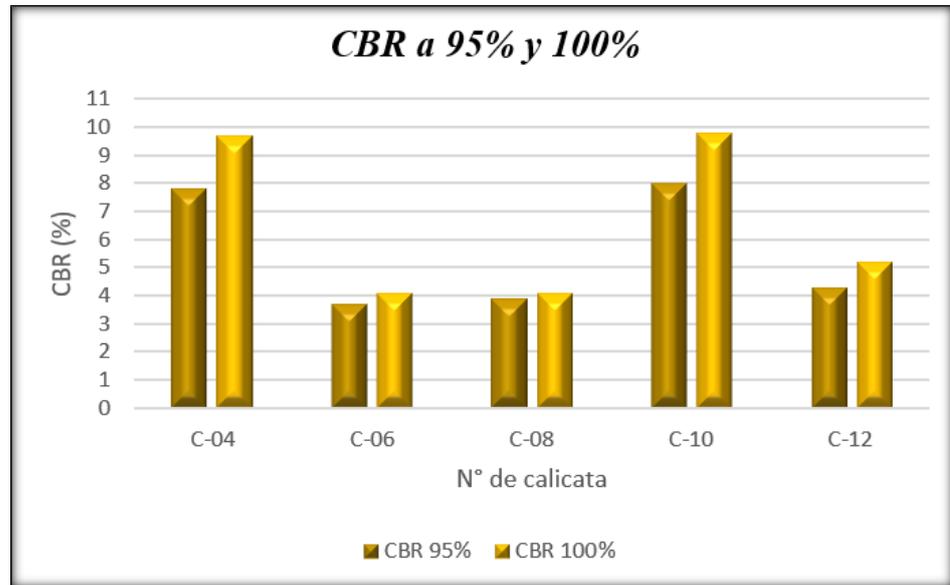
**TABLA 29: Resultados del ensayo de CBR**

Ubicación			Contenido de humedad natural %	Clasificación de suelos		Proctor modificado		CBR		Expansión %
Calicata	Muestra	Profundidad (m)		SUCS	AASHTO	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %	M.D.S 95%	M.D.S 100%	
C-4	M-2	3.40	46.44	ML	A-5(10)	1.640	20.00	7.80	9.70	51.53
C-6	M-2	2.80	54.53	MH	A-5(10)	1.600	21.00	3.70	4.10	159.31
C-8	M-2	3.60	67.46	MH	A-7-5(12)	1.600	21.30	3.90	4.10	150.47
C-10	M-2	2.30	38.17	ML	A-4(8)	1.650	19.00	8.00	9.80	50.35
C-12	M-2	2.50	50.75	MH	A-5(11)	1.615	20.50	4.30	5.20	146.05

Fuente:

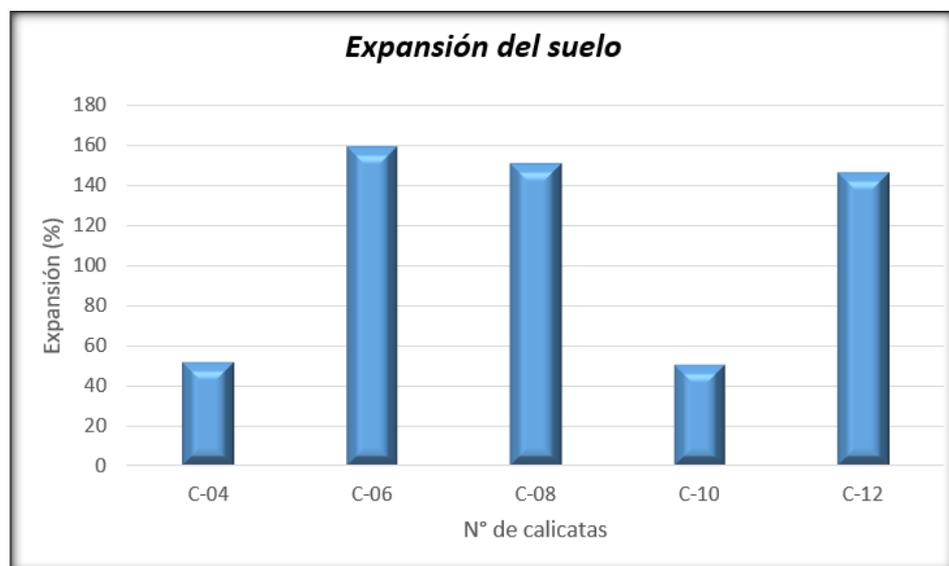
En la Figura 41, muestra los resultados del CBR resaltando que los estratos de la calicata C-06, C-08 y C-12 presentan valores inferiores al 6% debido a que presentan limo de alta plasticidad (MH) y la C-04 y C-10 presentan

valores inferiores al 10% debido a que están conformado por limo de baja plasticidad (ML), categorizándolo como una subrasante INADECUADO.



**FIGURA 41:** Gráfico de CBR a un 95% y 100%. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42 muestra los resultados de expansión del suelo, resaltando que los estratos de la calicata C-06, C-08 y C-12 su expansión sobrepasa el 100% debido a que estas están conformadas por limo de alta plasticidad (MH).



**FIGURA 42:** Gráfico de expansión de suelo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la Tabla 30 mostramos un resumen de los resultados de los ensayos realizados con las propiedades físicas de cada una de las muestras tomadas en campo, según los ensayos estándar y clasificación SUCS y AASHTO:

**TABLA 30: Resumen y resultados de los ensayos estándar**

Calicatas		Contenido de humedad %	Distribución granulométrica			Límites de consistencia		Índice de plasticidad	Clasificación	
			Gruesos	Arena	Finos	Limite líquido	Limite plástico		SUCS	AASHTO
			%	%	%	%	%			
C-1	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-1	17.52	35.57	29.27	35.16	27.83	21.18	6.65	GM-GC	A-4(0)
	E-2	25.23	24.86	32.77	42.37	26.66	21.28	5.38	SM-SC	A-4(1)
C-2	E-1	11.06	51.13	33.88	14.99	21.18	16.17	5.01	GM-GC	A-1-a(0)
	E-2	18.62	56.17	11.89	31.94	30.03	22.52	7.51	GC	A-2-4(0)
	E-3	25.10	38.37	38.28	23.35	29.00	23.42	5.58	GM	A-1-b(0)
C-3	E-1	15.16	40.40	44.72	14.72	0.00	0.0	0.0	SM	A-1-b(0)
	E-2	17.33	62.82	21.83	15.35	30.58	25.62	4.96	GM	A-1-b(0)
C-4	E-1	13.46	46.97	30.99	22.04	27.61	25.15	2.46	GM	A-1-b(0)
	E-2	46.44	1.05	15.08	83.87	47.93	38.61	9.32	ML	A-5(10)
C-5	E-1	14.02	71.03	16.93	12.04	27.61	25.15	2.46	GM	A-1-a(0)
	E-2	70.32	0.00	4.09	95.91	54.35	44.72	9.63	MH	A-5(11)
C-6	E-1	29.20	49.27	12.64	38.09	32.97	27.12	5.85	GM	A-4(1)
	E-2	54.53	0.22	5.68	94.10	52.11	42.54	9.57	MH	A-5(10)
C-7	E-1	12.08	37.29	38.22	24.49	25.35	21.03	4.32	SM-SC	A-1-b(0)
	E-2	69.90	0.00	2.39	97.61	60.50	44.44	16.06	MH	A-7-5(14)
C-8	E-1	9.27	54.37	31.63	14.00	20.53	18.39	2.14	GM	A-1-a(0)
	E-2	67.46	0.00	1.64	98.36	56.09	43.23	12.86	MH	A-7-5(12)
C-9	E-1	7.37	44.07	39.29	16.64	0.00	0.00	0.00	GM	A-1-b(0)
	E-2	10.90	52.29	28.22	19.49	20.75	17.79	2.96	GM	A-1-b(0)
C-10	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-1	36.52	0.17	23.92	75.91	40.35	34.00	6.35	ML	A-5(8)
	E-2	38.17	0.35	17.31	82.34	37.60	30.54	7.06	ML	A-4(8)
C-11		-	-	-	-	-	-	-	-	-



	E-1	36.80	0.12	21.35	78.53	41.62	35.17	6.45	ML	A-5(8)
	E-2	52.53	0.62	5.68	97.30	51.45	42.48	8.97	MH	A-5(10)
C-12	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	E-1	36.78	0.66	21.82	77.52	40.63	34.25	6.38	ML	A-5(8)
	E-2	50.75	0.39	5.05	94.56	52.63	42.95	9.68	MH	A-5(11)

Fuente:

De la Tabla 30, dentro de 5 calicatas en estratos inferiores, podremos analizar los siguientes resultados (Ver Anexo II):

- ❖ En la Calicata 04, presenta una humedad natural de 46.66%, una distribución granulométrica de finos a un 83.87%, con un límite líquido de 47.93% y un índice de plasticidad de 9.32% considerada como plasticidad media y caracterizada como suelo arcilloso. Dentro del sistema de clasificación, está determinado como limo inorgánico de baja plasticidad ML. Presenta una densidad máxima de 1.64gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 20%, y con estos resultados podremos determinar que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, está en un 7.8%, la cual corresponde a la categoría de subrasante regular (S2, CBR ≥6% a CBR <10%), con una expansión de 51.53%.
- ❖ En la Calicata 06, presenta una humedad natural de 54.53%, una distribución granulométrica de finos a un 94.10%, con un límite líquido de 52.11% y un índice de plasticidad de 9.57% considerada como plasticidad media y caracterizada como suelo arcilloso. Dentro del sistema de clasificación, está determinado como limo inorgánico de baja plasticidad MH. Presenta una densidad máxima de 1.60gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 21%, y con estos resultados podremos determinar que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, está en un 3.70%, la cual corresponde a la categoría de subrasante insuficiente (S1, CBR ≥3% a CBR <6%), con una expansión de 159.31%.
- ❖ En la Calicata 08, presenta una humedad natural de 67.46%, una distribución granulométrica de finos a un 98.36%, con un límite líquido de 56.09% y un índice de plasticidad de 12.86% considerada como plasticidad media y caracterizada como suelo arcilloso. Dentro del sistema de clasificación, está determinado como limo inorgánico de alta



- plasticidad MH. Presenta una densidad máxima de 1.60gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 21.30%, y con tales resultados podremos determinar que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, está en un 3.90%, la cual corresponde a la categoría de subrasante insuficiente (S1, CBR  $\geq$ 3% a CBR <6%), con una expansión de 150.47%.
- ❖ En la Calicata 10, presenta una humedad natural de 38.17%, una distribución granulométrica de finos a un 82.34%, con un límite líquido de 37.60% y un índice de plasticidad de 7.06% considerada como plasticidad media y caracterizada como suelo arcilloso. Dentro del sistema de clasificación, está determinado como limo inorgánico de baja plasticidad ML. Presenta una densidad máxima de 1.65gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 19%, y con estos resultados podremos determinar que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, está en un 8%, la cual corresponde a la categoría de subrasante regular (S2, CBR  $\geq$ 6% a CBR <10%), con una expansión de 50.35%.
  - ❖ En la Calicata 12, presenta una humedad natural de 50.75%, una distribución granulométrica de finos a un 94.56%, con un límite líquido de 52.63% y un índice de plasticidad de 9.68% considerada como plasticidad media y caracterizada como suelo arcilloso. Dentro del sistema de clasificación, está determinado como limo inorgánico de alta plasticidad MH. Presenta una densidad máxima de 1.615gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 20.5%, y con estos resultados podremos determinar que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS, está en un 4.3%, la cual corresponde a la categoría de subrasante insuficiente (S1, CBR  $\geq$ 3% a CBR <6%), con una expansión de 146.05%.

Luego de determinar la caracterización geotécnica, podemos determinar que el material donde se va utilizar para el uso de sub rasante no cumplen con los requisitos establecidos por las normas, donde los valores de CBR son muy bajos, así mismo, se puede ver la presencia del nivel freático por filtración, lo que nos da a entender que el material necesita el retiro y mejoramiento del suelo por su alta expansividad, lo cual no es recomendable para la construcción de la infraestructura vial en la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno, por la carga y el tráfico vehicular que esta va a tener.



## 5.2. ELABORACIÓN DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

La elaboración de un perfil estratigráfico es una herramienta importante para la caracterización del suelo, porque permite conocer información de la disposición y propiedades de cada una de las capas o estratos que compone el suelo. Para la elaboración de nuestros perfiles estratigráficos a lo largo de la vía donde, se realizó la toma de datos en campo donde se midió el espesor de cada calicata, toma de muestras, la descripción del suelo cuyos puntos de investigación son un total de 12 calicatas, para finalmente realizar su clasificación SUCS y AASTHO. En algunas calicatas en la parte superior se encontraron capas de relleno (desechos sólidos como plásticos, basura trozos de ladrillos y otros).

Para elaborar un perfil estratigráfico se determinó los siguientes aspectos (Ver Anexo III: Perfil estratigráfico).:

- ❖ Profundidad y el espesor de cada capa de suelo: Las profundidades varían entre un 1.40m a 3.60m., en el cual tuvo como objetivo llegar al terreno natural.
- ❖ Información sobre la secuencia de formación del suelo: Los estratos superiores están conformados por materiales grueso y los estratos inferiores por materiales finos.
- ❖ Nos ayuda a ver la profundidad del nivel freático donde se puede ver que está dado por filtración, llegando a una profundidad de 1.30m a 2.50m.

A continuación, se detallan los perfiles estratigráficos de las 12 calicatas:

### 5.2.1. Calicata 01

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 01					
ALTURA (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
0.10			RELLENO		
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60	M-1		GRAVA LIMO - ARCILLOSA , COLOR GRIS OCURO, CON 35.57 % DE GRAVA (SEMI - REDONDEADA), 29.27 % DE ARENA Y 35.16 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 27.83 Y IP = 6.65 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 17.52 % , TAMAÑO MAXIMO 3 "	GM-GC	A-4 (0)
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30	M-2		ARENA LIMO ARCILLOSA , COLOR GRIS OSCURO, CON 24.86 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR) 32.77 % DE ARENA Y 42.47 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 26.66 Y IP = 5.38 (BAJA A MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 25.23 % , TAMAÑO MAXIMO 1 1/2 "	SM-SC	A-4 (1)
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

FIGURA 43: Perfil estratigráfico de la calicata 01. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2. Calicata 02

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 02					
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
0.10	M-1		GRAVA LIMO - ARCILLOSA , COLOR GRIS , CON 51.13 % DE GRAVA (SEMI - REDONDEADA), 33.88 % DE ARENA Y 14.99 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 21.18 Y IP = 5.01 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 11.06 % , TAMAÑO MAXIMO 2 "	GM-GC	A-1-a (0)
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50	M-2		GRAVA ARCILLOSA, COLOR GRIS OSCURO, SEMI ANGULOSA, CON 56.17 % DE GRAVA, 11.89 % DE ARENA Y 31.94 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 30.03 Y IP = 7.51, CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 18.62 % , TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GC	A-2-4 (0)
1.60					
1.70	M-3		GRAVA LIMOSA, COLOR GRIS, SEMI ANGULOSA, CON 38.37 % DE GRAVA, 38.28 % DE ARENA Y 23.35 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 29.00 Y IP = 5.58 , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 25.10 % , TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GM	A-1-b (0)
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

FIGURA 44: Perfil estratigráfico de la calicata 02. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3. Calicata 03

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 03					
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
-0.10	M-1	[Symbol]	ARENA LIMOSA , COLOR PARDO, CON 40.40 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR) 44.72 % DE ARENA Y 14.72 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 0.00 Y IP = 0.00 (NO PRESENTA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 15.16 %, TAMAÑO MAXIMO 1 1/2 "	SM	A-1-b (0)
-0.20					
-0.30					
-0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10	M-2	[Symbol]	GRAVA LIMOSA, COLOR GRIS OSCURO, SEMI ANGULOSA, CON 62.82 % DE GRAVA, 21.83 % DE ARENA Y 15.35 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 30.58 Y IP = 4.96 (BAJA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 17.33 %, TAMAÑO MAXIMO 3 1/2"	GM	A-1-b (0)
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					

FIGURA 45: Perfil estratigráfico de la calicata 03. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.4. Calicata 04

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 04					
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
-0.10	M-1	[Symbol]	GRAVA LIMOSA, COLOR PARDO, SEMI ANGULOSA, CON 46.97 % DE GRAVA, 30.9 % DE ARENA Y 22.04 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 27.61 Y IP = 2.46 (BAJA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 13.46 %, TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GM	A-1-b (0)
-0.20					
-0.30					
-0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30	M-2	[Symbol]	LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 1.05 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 15.08 % DE ARENA Y 83.87 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 47.93 Y IP = 9.32 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 46.44 %, TAMAÑO MAXIMO 1/2"	ML	A-5 (10)
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					
3.30					
3.40					

FIGURA 46: Perfil estratigráfico de la calicata 04. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.5. Calicata 05

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 05					
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
-0.10	M-1		GRAVA LIMOSA, COLOR PARDO, SEMI ANGULOSA, CON 71.03 % DE GRAVA, 16.93 % DE ARENA Y 12.04 % PASA 200 (FINOS), LL = 27.61 Y IP = 2.46 (BAJA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 13.46 %, TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GM	A-1-a (0)
-0.20					
-0.30					
-0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80	M-2		LIMOS, COLOR GRIS OSCURO, 0.00 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 4.09 % DE ARENA Y 95.91 % PASA 200 (FINOS), LL = 54.35 Y IP = 9.63 (MEDIA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 70.32 %.	MH	A-5 (11)
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00					
3.10					
3.20					

FIGURA 47: Perfil estratigráfico de la calicata 05. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.6. Calicata 06

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 06					
ALTURA (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
-0.10	M-1		GRAVA LIMOSA, COLOR PARDO, SEMI ANGULOSA, CON 49.27 % DE GRAVA, 12.64 % DE ARENA Y 38.09 % PASA 200 (FINOS), LL = 32.97 Y IP = 5.85 (MEDIA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 29.20 %, TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GM	A-4 (1)
-0.20					
-0.30					
-0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20	M-2		LIMOS, COLOR GRIS OSCURO, 0.22 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 5.68 % DE ARENA Y 94.10 % PASA 200 (FINOS), LL = 52.11 Y IP = 9.57 (MEDIA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 54.53 %.	MH	A-5 (10)
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					

FIGURA 48: Perfil estratigráfico de la calicata 06. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.7. Calicata 07

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 07						
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		
				SUCS	AASHTO	
-0.10	M-1		ARENA LIMO ARCILLOSA , COLOR GRIS , CON 37.29 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR) 38.22 % DE ARENA Y 24.49 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 25.35 Y IP = 4.32 (BAJA A MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 12.08 % , TAMAÑO MAXIMO 1 1/2 "	SM-SC	A-1-a (0)	
-0.20						
-0.30						
-0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10	M-2		LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 0.00 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 2.39 % DE ARENA Y 97.61 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 60.50 Y IP = 16.06 (ALTA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 69.90 %.	MH	A-7-5 (14)	
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						
2.10						
2.20						
2.30						
2.40						
2.50						
2.60						
2.70						
2.80						
2.90						
3.00						
3.10						
3.20						
3.30						
3.40						

FIGURA 49: Perfil estratigráfico de la calicata 07. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.8. Calicata 08

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 08						
ALTUR A. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION		
				SUCS	AASHTO	
-0.10	M-1		GRAVA LIMOSA, COLOR PARDOS , SEMI ANGULOSA, CON 54.37 % DE GRAVA, 31.63 % DE ARENA Y 14.00 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 20.53 Y IP = 2.14 (BAJA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 9.27 % , TAMAÑO MAXIMO 3"	GM	A-1-a (0)	
-0.20						
-0.30						
-0.40						
0.50						
0.60						
0.70						
0.80						
0.90						
1.00						
1.10	M-2		LIMOS, COLOR GRIS OSCURO, 0.00 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 1.64 % DE ARENA Y 98.36 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 56.09 Y IP = 12.86 (ALTA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 67.46 % , TAMAÑO MAXIMO 1 1/2"	MH	A-7-5 (12)	
1.20						
1.30						
1.40						
1.50						
1.60						
1.70						
1.80						
1.90						
2.00						
2.10						
2.20						
2.30						
2.40						
2.50						
2.60						
2.70						
2.80						
2.90						
3.00						
3.10						
3.20						
3.30						
3.40						
3.50						
3.60						

FIGURA 50: Perfil estratigráfico de la calicata 08. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.9. Calicata 09

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 09					
ALTURA. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
-0.10	M-1		GRAVA LIMOSA, COLOR PARDOS, SEMI ANGULOSA, CON 44.07 % DE GRAVA, 39.29 % DE ARENA Y 16.64 % PASA 200 ( FINOS ), LL = 0.00 Y IP = 0.00 (NO TIENE), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 7.37 %, TAMAÑO MAXIMO 3"	GM	A-1-b (0)
-0.20					
-0.30					
-0.40					
0.50	M-2		GRAVA LIMOSA, COLOR PARDOS, SEMI ANGULOSA, CON 52.29 % DE GRAVA, 28.22 % DE ARENA Y 19.49 % PASA 200 ( FINOS ), LL = 20.75 Y IP = 2.96 (BAJA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 10.90 %, TAMAÑO MAXIMO 2 1/2"	GM	A-1-b (0)
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					

FIGURA 51: Perfil estratigráfico de la calicata 09. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.10. Calicata 10

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 10					
ALTURA. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
0.10			RELLENO		
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60	M-1		LIMOS, GRIS OSCURO, 0.17 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 23.92 % DE ARENA Y 75.91 % PASA 200 ( FINOS ), LL = 40.35 Y IP = 6.35 (MEDIA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 36.52 %, TAMAÑO MAXIMO 1/2"	ML	A-5 (8)
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60	M-2		LIMOS, COLOR GRIS OSCURO, 0.35 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 17.31 % DE ARENA Y 82.34 % PASA 200 ( FINOS ), LL = 37.60 Y IP = 7.06 (MEDIA), CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 38.17 %, TAMAÑO MAXIMO 1/2"	ML	A-4 (8)
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					

FIGURA 52: Perfil estratigráfico de la calicata 10. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.11. Calicata 11

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 11					
ALTURA. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
0.10			RELLENO		
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10			LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 0.12 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 21.35 % DE ARENA Y 78.53 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 41.62 Y IP = 6.45 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 36.80 % , TAMAÑO MAXIMO 1"	ML	A-5 (8)
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10			LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 0.62 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 5.68 % DE ARENA Y 97.30 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 51.45 Y IP = 8.97 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 52.53 % .	MH	A-5 (10)
2.20					
2.30					
2.40					

FIGURA 53: Perfil estratigráfico de la calicata 11. Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.12. Calicata 12

PERFIL ESTRATIGRAFICO - CALICATA 12					
ALTURA. (m)	MUESTRA N°	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CLASIFICACION	
				SUCS	AASHTO
0.10			RELLENO		
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10			LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 0.66 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 21.82 % DE ARENA Y 77.52 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 40.63 Y IP = 6.38 (MEDIA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 36.78 % , TAMAÑO MAXIMO 1"	ML	A-5 (8)
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60					
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10			LIMOS, COLOR GRIS OSCURO , 0.39 % DE GRAVA (SEMI ANGULAR), 5.05 % DE ARENA Y 94.56 % PASA 200 ( FINOS ) , LL = 52.63 Y IP = 9.68 (ALTA) , CONTENIDO DE HUMEDAD ES DE 50.75 % .	MH	A-5 (11)
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					

FIGURA 54: Perfil estratigráfico de la calicata 12. Fuente: Elaboración propia.



En resumen, la realización de perfiles estratigráficos nos ayuda a comprender las características y el comportamiento del suelo de acuerdo al procesamiento de los ensayos de laboratorio de cada muestra, profundidades tomadas en situ, descripción de suelo y la clasificación SUCS y AASHTO.

### **5.3. EVALUACIÓN DE CANTERAS**

Frente al comportamiento de suelos inadecuados del área del proyecto de investigación, surge la necesidad de realizar un mejoramiento del terreno de fundación, mediante el estudio de canteras y la evaluación de las características geotécnicas de cada cantera así poder determinar que canteras cumplen con las especificaciones técnicas del manual de carreteras, para así de esta manera garantizar la estabilidad y un adecuado comportamiento del terreno de fundación.

Para mejorar el terreno de fundación de la zona del proyecto de investigación se necesita una cantera de roca que cumpla con las especificaciones técnicas para realizar el relleno de pedraplén con materiales pétreos debidamente aprobados, seguidamente se necesitan la evaluación de canteras para la conformación de la base y sub base que cumplan con especificaciones

Las canteras son ubicadas en lo posible de que tengan un fácil acceso, mínimas distancias de acarreo a la obra, buen rendimiento, fácil explotación y que signifiquen un menor costo.

#### **5.3.1. Características geotécnicas de Canteras**

##### **5.3.1.1. Cantera de roca**

###### **Cantera San Luis de Alva**

###### **Ubicación y acceso**

Se encuentra ubicado en la comunidad San Luis de Alva en el Km. 7+000, su acceso es por la vía Puno - Moquegua, se desvía del ovalo al lado derecho para llegar a la cantera de roca.

###### **Descripción**

En la zona de la cantera se han distinguido rocas ígneas volcánicas de composición Andesítico. La zona está ubicada en un área que fue sometido a una



intensa actividad ígnea eruptiva de magma andesítico, lo que produjo enormes cantidades de material volcánico lo cual fue acumulado en mantos de lava.

#### **Características (Ver Anexo IV):**

- ❖ Nombre de la roca : Andesita
- ❖ Abrasión los Ángeles : 27.13%
- ❖ Diámetro : 15 cm – 90 cm
- ❖ Volumen : 60 000 m<sup>3</sup>
- ❖ Explotación : Todo el año con Voladura

#### **Usos**

- ❖ Relleno pedraplen : 100%

#### **5.3.1.2. Canteras para la base y sub base**

- ❖ **Cantera Jayllihuaya**

#### **Ubicación y accesibilidad**

La cantera se encuentra ubicado en el Centro Poblado de Jayllihuaya, en el Km. 5+000, al lado derecho de la vía junto a la quebrada. La accesibilidad es por la vía Puno a Jayllihuaya.

#### **Descripción**

Los materiales de cantera esta emplazados en la quebrada, esta conformados por suelos aluviales transportados de la parte alta para finalmente ser depositados en la quebrada. Los depósitos se encuentran aguas arribas y aguas abajo, donde los clastos son sub redondeados a sub angulosos con mezcla de limos y arcillas. La cantera está conformada por rocas sedimentarias del Grupo Puno de coloración rojiza a marrón gris.

#### **Características (Ver Anexo IV)**

- ❖ Grava : 55.23%
- ❖ Arena : 32.42%
- ❖ Finos : 12.35%
- ❖ Clasificación SUCS : GC
- ❖ Clasificación AASTHO : A-2-4 (0)



- ❖ Limite liquido : 27.09%
- ❖ Limite Plástico : 18.51%
- ❖ Índice de plasticidad : 8.58%
- ❖ Densidad máxima (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.17
- ❖ Humedad óptima (%) : 7.30
- ❖ CBR al 100% MDS : 72.2%

### Usos

- ❖ Base y sub base granular

### Volumen

- ❖ 50 000 m<sup>3</sup>

### Explotación

- ❖ Todo el año

### ❖ Cantera Cutimbo

### Ubicación y accesibilidad

La cantera Cutimbo se encuentra ubicado en el Km. 31+000, en el lado derecho de la vía, en el río Cutimbo. La accesibilidad es por la vía Puno-Moquegua a una distancia de 31+000 Km.

### Descripción

Los materiales de la cantera están en el río Cutimbo, es un material conformado por una mezcla gravas y arenas mal graduadas, con clastos de origen aluvial cuyas partículas pétreas son de origen sedimentarios y volcánicos de formas subredondeadas a redondeadas de coloración gris oscuro a gris parduzco.

Para realizar la explotación se debe realizar un desbroce de material en las riberas del cauce del río mientras que en el cauce del río se debe de realizar de manera directa con la ayuda de un cargador frontal ya que las gravas y arenas están limpias.

### Características (Ver Anexo V):

- ❖ Grava : 66.12%



❖ Arena	: 30.80%
❖ Finos	: 3.09%
❖ Clasificación SUCS	: GP
❖ Clasificación AASTHO	: A-1-a (0)
❖ Limite liquido	: 0.00%
❖ Limite Plástico	: 0.00%
❖ Índice de plasticidad	: 0.00%
❖ Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	: 2.23
❖ Humedad óptima (%)	: 6.1
❖ CBR al 100% MDS	: 88.4%

#### Usos

- ❖ Base y sub base granular

#### Volumen

- ❖ 60 000 m<sup>3</sup>

#### Explotación

- ❖ Épocas de estiaje

### 5.3.2. Mezcla de Canteras (Ver Anexo IV):

Cantera Jayllihuaya (60%) y Cantera Cutimbo (40%)

Para la conformación de la subbase y base granular se recomienda la mezcla de la Cantera Jayllihuaya en un 60% con la Cantera Cutimbo en un 40%, para que de esta manera se cumpla las especificaciones de las normas exigidas por el Ministerio de Transporte y comunicaciones MTC.

Requerimiento de calidad de la base: Las especificaciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, exigen que los materiales de base granular deben ajustarse a una de las gradaciones con altitud mayor de 3000msnm.

**TABLA 32: Requerimientos Granulométricos para sub base granular y base granular.**

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A *	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9,5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4,75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2,0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4,25 µm (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 µm (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente: Sección 304 de las EG-2000 del MTC.

\* La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

**TABLA 31: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular**

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	
Límite Líquido	NTP 339.129:1998	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1998	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	

Fuente: Sección 304 de las EG-2000 del MTC.

#### 5.4. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Una evaluación geotécnica de suelo juega un papel muy importante para una construcción de pavimentos, nos ayuda determinar las características geotécnicas y su posible respuesta frente al comportamiento de suelos inadecuados. Al encontrarnos con suelos inadecuados surge la necesidad de realizar un mejoramiento

del terreno de fundación, mediante el estudio y evaluación de canteras, para así garantizar la estabilidad y un adecuado comportamiento del terreno de fundación.

Muchas de las fallas de los pavimentos se encuentran en el terreno de fundación, de allí la importancia de conocer las características geotécnicas, entendiendo el comportamiento mecánico de los suelos, proveniente de los ensayos de Próctor Modificado y CBR (California Bearing Ratio) en condición de saturación, y con estos resultados se calcula y se determina la capacidad de soporte, que permitirá el diseño de la estructura de pavimento.

A continuación, presentaremos los resultados de los ensayos en laboratorio del suelo de estratos inferiores, donde soportara la carga del pavimento, para ellos se hizo los ensayos como: el contenido de humedad natural, análisis granulométrico, límites de Atterberg, proctor modificado, y CBR (California Bearing Ratio).

#### 5.4.1. Propiedades Físicas

##### 5.4.1.1. Contenido de humedad

La humedad es una característica geotécnica muy importante, muchas veces está influenciada por el nivel freático de agua, teniendo gran importancia para determinar la capacidad de drenaje del suelo, en el cual esta afecta la capacidad de carga del pavimento, generando así problemas relacionados con la humedad.

En la Tabla 33, muestra un promedio de la humedad natural del suelo en un 44.06% en el área de estudio, determinando que esta condición de humedad afecta directamente al terreno de fundación, ya que este porcentaje es alto.

**TABLA 33: Promedio de la humedad natural del área de estudio**

Ubicación				Contenido de Humedad %	Nivel Freático (m.)
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Lado		
C-01	M-2	2.00-2.50	IZQ.	25.23	-1.60
C-02	M-3	2.00-2.50	DER.	25.10	-1.50
C-03	M-2	2.00-2.80	IZQ	17.33	-2.50
C-04	M-2	1.50-3.40	DER.	46.44	-2.50
C-05	M-2	1.70-3.20	IZQ	70.32	-1.80



C-06	M-2	2.00-2.80	DER.	54.53	-1.30
C-07	M-2	1.10-3.40	IZQ	69.90	-1.50
C-08	M-2	1.10-3.60	DER.	67.46	-2.40
C-09	M-2	0.40-1.40	IZQ	10.90	-1.40
C-10	M-2	1.80-2.30	DER.	38.17	-2.10
C-11	M-2	2.00-2.40	IZQ	52.53	-2.10
C-12	M-2	2.10-2.50	DER.	50.75	-2.10
<b>PROMEDIO DE HUMEDAD</b>				<b>44.06 %</b>	

Fuente:

#### 5.4.1.2. Análisis granulométrico

El análisis de tamaño de partícula es una prueba básica y sencilla pero no la menos importante para la caracterización del suelo. Esta prueba ayuda a determinar las principales propiedades geotécnicas del suelo, como la capacidad de carga, la deformabilidad y la permeabilidad.

Después de realizar los ensayos en laboratorio, en la Tabla 34 y Figura 55, muestra un promedio de la granulometría, teniendo un 15.8% de gruesos, 14.84% de arena y un 70.08% de finos, determinando que, en el área de estudio predomina principalmente materiales finos como limos inorgánicos, donde tendrá el soporte de la carga de la estructura.

**TABLA 34: Promedio de granulometría en el área de estudio**

Ubicación				Distribución granulométrica %		
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Lado	Gruesos	Arena	Finos
C-01	M-2	2.00-2.50	IZQ.	24.86	32.77	42.37
C-02	M-3	2.00-2.50	DER.	38.37	38.28	23.35
C-03	M-2	2.00-2.80	IZQ	62.82	21.83	15.35
C-04	M-2	1.50-3.40	DER.	1.05	15.08	83.87
C-05	M-2	1.70-3.20	IZQ	0.00	4.09	95.91
C-06	M-2	2.00-2.80	DER.	0.22	5.68	94.10
C-07	M-2	1.10-3.40	IZQ	0.00	2.39	97.61
C-08	M-2	1.10-3.60	DER.	0.00	1.64	98.36
C-09	M-2	0.40-1.40	IZQ	52.29	28.22	19.49

C-10	M-2	1.80-2.30	DER.	0.35	17.31	82.34
C-11	M-2	2.00-2.40	IZQ	0.62	5.68	93.70
C-12	M-2	2.10-2.50	DER.	0.39	5.05	94.56
<b>PROMEDIO GRANULOMÉTRICO</b>				<b>15.08</b>	<b>14.84</b>	<b>70.08</b>

Fuente:



**FIGURA 55:** Gráfico del promedio granulométrico en el área de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.1.3. Límites de consistencia

Los límites de consistencia son importantes para una evaluación geotécnica, ya que la consistencia de un suelo puede determinar la calidad y su capacidad para soportar las cargas.

La consistencia de una arcilla natural puede cambiar a diferentes estados en función de su contenido de humedad, que van desde un estado sólido en condiciones secas hasta un estado líquido en condiciones húmedas. La clasificación de los suelos finos según su plasticidad tiene en cuenta los valores del límite líquido y el índice de plasticidad, que son cruciales para determinar la consistencia del suelo.

Para las condiciones de consistencia según su Índice de Plasticidad se ven a continuación en la Tabla 33, de acuerdo al Manual de Carreteras y su clasificación respectiva de los materiales encontrados donde se va soportar la carga.

**TABLA 35: Clasificación de suelos según su índice de plasticidad**

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

Fuente: M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos (M.T.C.,

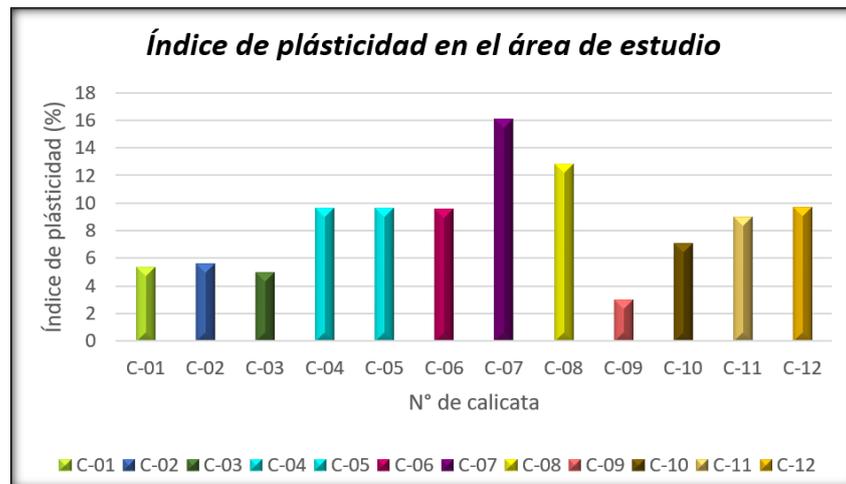
En la Tabla 36, muestra las características de límites de consistencia, donde varia de baja a media plasticidad. Los de baja plasticidad son suelos poco arcillosos y los de media son suelos arcillosos, pero en el área de estudio presenta en su mayoría suelos de media plasticidad.

**TABLA 36: Características de límites de consistencia**

Calicata	Muestra	Profundidad estrato (m)	Limite liquido%	Limite plástico	Índice de plasticidad	Plasticidad	Características
C-01	M-2	2.00 – 2.50	26.66	21.28	5.38	Baja	Poco arcillosos
C-02	M-3	2.00 – 2.50	29.00	23.42	5.58	Baja	Poco arcillosos
C-03	M-2	2.00 – 2.80	30.58	25.62	4.96	Baja	Poco arcillosos
C-04	M-2	1.50-3.40	47.93	38.61	9.32	Media	Suelo arcilloso
C-05	M-2	1.70-3.20	52.11	42.54	9.57	Media	Suelo arcilloso
C-06	M-2	2.00-2.80	56.09	43.23	12.86	Media	Suelo arcilloso
C-07	M-2	1.10-3.40	60.50	44.44	16.06	Media	Suelo arcilloso
C-08	M-2	1.10-3.60	56.09	43.23	12.86	Media	Suelo arcilloso
C-09	M-2	0.40-1.40	20.75	17.79	2.96	Baja	Poco arcillosos
C-10	M-2	1.80-2.30	37.60	30.54	7.06	Media	Suelo arcilloso
C-11	M-2	2.10-2.30	51.45	42.48	8.97	Media	Suelo arcilloso
C-12	M-2	2.10-2.50	52.63	42.95	9.68	Media	Suelo arcilloso

Fuente:

El la Figura 56, muestra que el área de estudio presenta en su mayoría suelos de media plasticidad, debido a que presenta más del 50% de limite líquido.



**FIGURA 56:** Gráfico del índice de plasticidad del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.1.4. Clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO

La clasificación de suelos utilizando los sistemas SUCS y AASHTO, es crucial para determinar las características de resistencia y deformación de los suelos, son esenciales para diseñar pavimentos seguros y duraderos, determinando los parámetros necesarios del suelo, la relación de carga de California y el módulo de reacción de la subrasante.

Estos sistemas de clasificación de suelos, ayuda a predecir el comportamiento aproximado de los suelos, lo que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación, se muestra una correlación de los dos sistemas de clasificación más utilizados, AASHTO y ASTM (SUCS):

**TABLA 37: Correlación de Tipo de suelos AASHTO - SUCS**

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

Fuente: M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos

De acuerdo al sistema AASHTO, la Tabla 38 y la Figura 57, muestra que el terreno de fundación está conformado en un 58% de suelos limosos, en el cual estas desfavorecen a la resistencia del terreno para la construcción de pavimentos.

**TABLA 38: Estimación de suelos según la clasificación de AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282**

Calicata	Muestra	Profundidad estrato (m)	AASHTO M 145	ASTM D 3282	Tipo de material
C-01	M-2	2.00 – 2.50	A-4 (1)	GM-GC	Suelo Limoso
C-02	M-3	2.00 – 2.50	A-1-b (0)	GM	Suelo Gravoso
C-03	M-2	2.00 – 2.80	A-1-b (0)	GM	Suelo Gravoso
C-04	M-2	1.50-3.40	A-5 (10)	ML	Suelo Limoso
C-05	M-2	1.70-3.20	A-5 (11)	MH	Suelo Limoso
C-06	M-2	2.00-2.80	A-5 (10)	MH	Suelo Limoso
C-07	M-2	1.10-3.40	A-7-5 (14)	MH	Suelo arcilloso
C-08	M-2	1.10-3.60	A-7-5 (12)	MH	Suelo arcilloso
C-09	M-2	0.40-1.40	A-1-b (0)	GM	Suelo Gravoso
C-10	M-2	1.80-2.30	A-4 (8)	ML	Suelo Limoso
C-11	M-2	2.10-2.30	A-5 (10)	MH	Suelo Limoso
C-12	M-2	2.10-2.50	A-5 (11)	MH	Suelo Limoso

Fuente: Elaboración



**FIGURA 57: Gráfico de estimación de suelos según la clasificación AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282. Fuente: Elaboración propia.**

## 5.4.2. Propiedades Mecánicas

Estas propiedades lo determinan los ensayos especiales, en el cual fueron realizadas en 5 muestras de las calicatas C-04, C-06, C08, C-10 y la C-12, así mismo, estas van a determinar la condición general del terreno de fundación.

### 5.4.2.1. Proctor Modificado

El Proctor Modificado, es significativa para un estudio de pavimento, ayuda a evaluar la correlación entre la humedad del suelo y la unidad de peso, determinando la humedad óptima y la densidad seca máxima del suelo, así mismo, evalúa la compactación del suelo para garantizar la durabilidad y la capacidad de carga del pavimento.

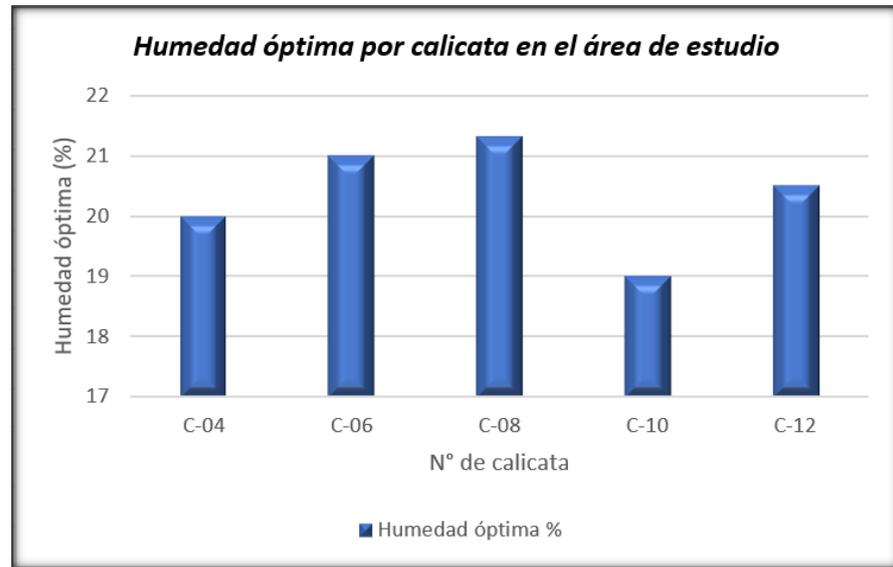
En la Tabla 39, después de realizar en ensayo de Proctor modificado, se aprecia un punto importante como la comparación de humedades, y se determina que el contenido de humedad natural supera a la humedad óptima de agua, generando así, problemas en cuanto a su comportamiento de los suelos por la presencia principalmente del nivel freático, de tal manera su comportamiento frente a la compactación no es adecuada para la durabilidad del pavimento (Ver Anexo II - D).

**TABLA 39: Determinación de las condiciones del Proctor modificado**

Ubicación		Contenido de humedad natural %	Clasificación de suelos		Proctor modificado	
Calicata	Muestra		SUCS	AASHTO	Densidad máxima(gr/cm3)	Humedad óptima %
C-04	M-2	46.44	ML	A-5(10)	1.640	20.00
C-06	M-2	54.53	MH	A-5(10)	1.600	21.00
C-08	M-2	67.46	MH	A-7-5(12)	1.600	21.30
C-10	M-2	38.17	ML	A-4(8)	1.650	19.00
C-12	M-2	50.75	MH	A-5(11)	1.615	20.50

Fuente:

En la Figura 58, se aprecia las condiciones en que se encuentra la humedad óptima variando entre 19 % a 21.30%, siendo estas inferiores al contenido de humedad natural de los suelos existentes.



**FIGURA 58:** Condiciones de la humedad óptima en el área de estudio.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.2.2. CBR (California Bearing Ratio)

La prueba de relación de carga de California (CBR), se utiliza para determinar el valor de resistencia del suelo frente al esfuerzo cortante de un suelo, bajo las condiciones determinadas de humedad óptima y densidad máxima.

La prueba, se realiza en una muestra de suelo bajo la compactación de variedad de golpes, posteriormente se sumerge en agua para simular las peores condiciones que encontrará el material de suelo en el área de estudio después de la construcción. El valor de CBR es una variable muy importante para el diseño de pavimentos (variedad de capas y espesor), ya que determina la resistencia de los suelos del terreno de fundación.

El presente proyecto de investigación, considera el ensayo CBR como el más importante, en el cual tiene como objetivo determinar el valor de resistencia del suelo frente al esfuerzo cortante del terreno de fundación, bajo su valor del CBR y expansión de los suelos.

Una vez definido el valor de CBR con características homogéneas, cada sector se clasificará a una categoría de sub rasante de acuerdo con los siguientes criterios:

**TABLA 40: Categorías de la sub rasante**

Tipo de Material	Tamaño de las partículas
$S_0$ : Sub rasante Inadecuada	$CBR < 3\%$
$S_1$ : Sub rasante Insuficiente	De $CBR \geq 3\%$ a $CBR < 6\%$
$S_2$ : Sub rasante Regular	De $CBR \geq 6\%$ a $CBR < 10\%$
$S_3$ : Sub rasante Buena	De $CBR \geq 10\%$ a $CBR < 20\%$
$S_4$ : Sub rasante Muy Buena	De $CBR \geq 20\%$ a $CBR < 30\%$
$S_5$ : Sub rasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

Fuente: M.C.S.G.G.P. Sección Suelos y Pavimentos - (M.T.C., 2014, pág. 37).

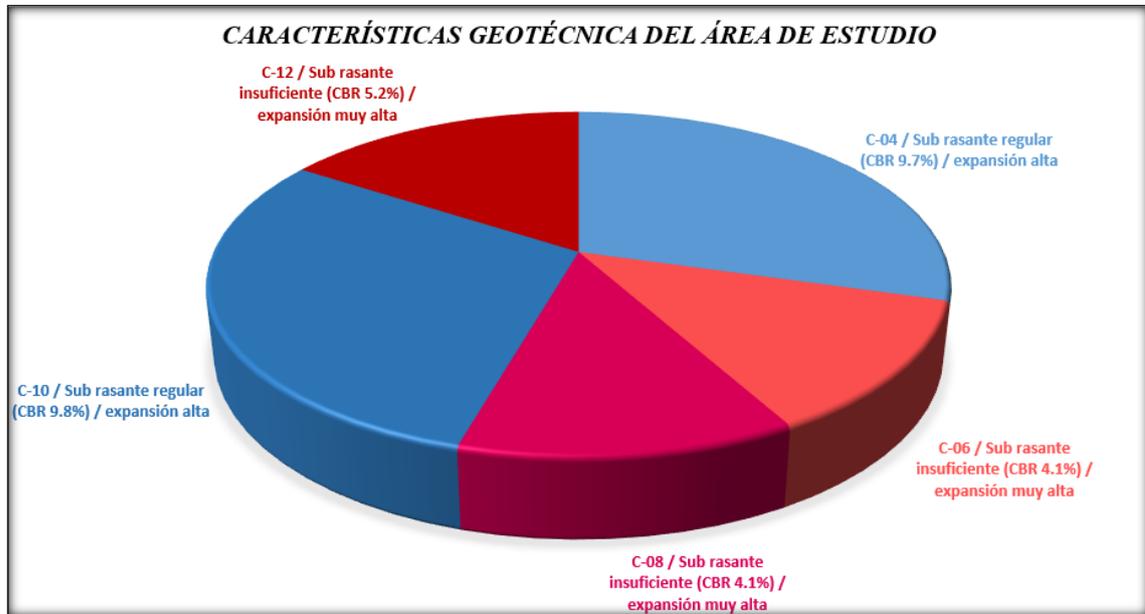
Bajo la clasificación de categorías de la sub rasante, la Tabla 41, muestra y se determina que su CBR al 95% de la MDS resulta un valor inferior al 5%, y que, en su mayoría sus expansiones son superiores al 100%, indicando así, que las condiciones en que se encuentra los suelos son insuficientes, eso quiere decir que posee una baja capacidad de soporte, el cual es considerado como material inadecuado (Ver Anexo II - E).

**TABLA 41: Determinación de las condiciones de área de estudio bajo el ensayo del CBR**

Ubicación		Clasificación de suelos		Proctor modificado		CBR		Categoría	Expansión %	Característica
Calicata	Muestra	SUCS	AASHTO	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima %	M.D.S 95%	M.D.S 100%			
C-04	M-2	ML	A-5(10)	1.640	20.00	7.80	9.70	Regular	51.53	Expansión alta
C-05	M-2	MH	A-5(11)	1.590	21.50	3.60	3.80	Insuficiente	161.66	Expansión muy alto
C-06	M-2	MH	A-5(10)	1.600	21.00	3.70	4.10	Insuficiente	159.31	Expansión muy alto
C-08	M-2	MH	A-7-5(12)	1.600	21.30	3.90	4.10	Insuficiente	150.47	Expansión muy alto
C-10	M-2	ML	A-4(8)	1.650	19.00	8.00	9.80	Regular	50.35	Expansión alta
C-12	M-2	MH	A-5(11)	1.615	20.50	4.30	5.20	Insuficiente	146.05	Expansión muy alto

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 59, representa la característica geotécnica del área de estudio, determinando que el terreno de fundación es insuficiente, es decir, son materiales inadecuados para la construcción de la infraestructura vial, debido a que el área se encuentra a riveras del Lago Titicaca y asentado en un depósito lacustre.



**FIGURA 59:** Gráfico de la condición geotécnica del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Luego de la evaluación para la caracterización geotécnica, podemos determinar que el material donde se va utilizar para el uso de sub rasante no cumplen con los requisitos establecidos por las normas, donde los valores de CBR son muy bajos, así mismo, se puede ver la presencia del nivel freático en el cual influye directamente en la inestabilidad del terreno, lo que nos da a entender que el material necesita el retiro y mejoramiento del suelo por su alta expansividad. Frente a esta situación se evaluó las características geotécnicas de canteras determinando que, si cumplen con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras, en el cual de esta manera nos ayudada en el mejoramiento, la estabilidad y un adecuado comportamiento del terreno de fundación, para la construcción de la infraestructura vial en la Avenida Costanera Sur de la ciudad de Puno.

A continuación, mostramos un resumen de las características geotécnicas de las 12 calicatas de acuerdo a las determinaciones de la propiedades físicas y mecánicas del suelo, llegando a la deducir que el terreno de fundación es inadecuado porque no cumple con los requisitos establecidos por las normas (Ver Anexo V: Mapa geotécnico)

**TABLA 42: Resumen de las condiciones geotécnicas de las primeras 6 calicatas**

CONDICIONES GEOTECNICAS							
CALICATA		C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06
LADO		IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
MUESTRA		M1	M1	M1	M1	M1	M1
PROFUNDIDAD (m)		0.50 - 2.00	0.00 - 1.40	0.00 - 2.00	0.00 - 1.50	0.00 - 1.70	0.00 - 2.00
GRAN. (%PASA)	N° 4	75.40	62.98	71.55	66.92	49.97	57.62
	N°200	35.16	14.99	14.72	22.04	12.04	38.09
LIMITES	L.L. (%)	27.83	21.18	0.00	27.61	27.61	32.97
	L.P. (%)	21.18	16.17	0.00	25.15	25.15	27.12
	I.P. (%)	6.65	5.01	0.00	2.46	2.46	5.85
%Hn		17.52	11.06	15.16	13.46	14.02	29.20
CLAS.	S.U.C.S	GM-GC	GM-GC	SM	GM	GM	GM
	AASTHO	A-4 (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-1-b (0)	A-2-6 (0)	A-4 (1)
P.M.	M.D.S (gr/cc)						
	O.C.H. (%)						
CBR	95 % M.D.S.						
	100% M.D.S.						
CONDICION							
MUESTRA		M2	M2	M2	M2	M2	M2
PROFUNDIDAD (m)		2.00 - 2.50	1.40 - 2.00	2.00 - 2.80	1.50 - 3.40	1.70 - 3.20	2.00 - 2.80
GRAN. (%PASA)	N° 4	75.14	43.83	37.18	98.95	100.00	99.98
	N°200	42.37	31.94	15.35	83.87	95.91	94.10
LIMITES	L.L. (%)	26.66	30.03	30.58	47.93	54.35	52.11
	L.P. (%)	21.28	22.52	25.62	38.61	44.32	42.54
	I.P. (%)	5.38	7.51	4.96	9.32	9.63	9.57
%Hn		25.23	18.62	17.33	46.44	70.32	54.53
CLAS.	S.U.C.S	SM-SC	GC	GM	ML	MH	MH
	AASTHO	A-4 (1)	A-2-4 (0)	A-1-b (0)	A-5 (10)	A-5 (11)	A-5 (10)
P.M.	M.D.S (gr/cc)				1.640	1.590	1.600
	O.C.H. (%)				20.00	21.50	21.00
CBR	95 % M.D.S.				7.80	3.60	3.70
	100% M.D.S.				9.70	3.80	4.10
CONDICION					Regular	Insuficiente	Insuficiente
MUESTRA			M3				
PROFUNDIDAD (m)			2.00 - 2.50				
GRAN. (%PASA)	N° 4		61.63				
	N°200		23.35				
LIMITES	L.L. (%)		29.00				
	L.P. (%)		23.42				
	I.P. (%)		5.58				
%Hn			25.10				
CLAS.	S.U.C.S		GM				
	AASTHO		A-1-b (0)				
P.M.	M.D.S (gr/cc)						
	O.C.H. (%)						
CBR	95 % M.D.S.						
	100% M.D.S.						
CONDICION							

Fuente:



**TABLA 43: Resumen de las condiciones geotécnicas de las últimas 6 calicatas**

CONDICIONES GEOTECNICAS							
CALICATA		C-07	C-08	C-09	C-10	C-11	C-12
LADO		IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
MUESTRA		M1	M1	M1	M1	M1	M1
PROFUNDIDAD (m)		0.00 - 1.10	0.00 - 1.10	0.00 - 0.40	0.50 - 1.80	1.00 - 2.00	0.00 - 1.10
GRAN. (%PASA)	N° 4	71.87	58.70	77.26	100.00	100.00	100.00
	N°200	24.49	14.00	16.64	75.91	78.53	77.52
LIMITES	L.L. (%)	25.35	20.53	0.00	40.35	41.62	40.63
	L.P. (%)	21.03	18.39	0.00	34.00	35.17	34.25
	I.P. (%)	4.32	2.14	0.00	6.35	6.45	6.38
%Hn		12.08	9.27	7.37	36.52	36.80	36.78
CLAS.	S.U.C.S	SM-SC	GM	GM	ML	ML	ML
	AASHTO	A-1-b (0)	A-1-a (0)	A-1-b (0)	A-5 (8)	A-5 (8)	A-5 (8)
P.M.	M.D.S (gr/cc)						
	O.C.H. (%)						
CBR	95 % M.D.S.						
	100% M.D.S.						
CONDICION							
MUESTRA		M2	M2	M2	M2	M2	M2
PROFUNDIDAD (m)		1.10 - 3.40	1.10 - 3.60	0.40 - 1.40	1.80 - 2.30	2.00 - 2.40	1.10 - 2.50
GRAN. (%PASA)	N° 4	100.00	100.00	47.71	99.65	99.38	99.61
	N°200	97.61	98.36	19.49	82.34	93.70	94.56
LIMITES	L.L. (%)	60.50	56.09	20.75	37.60	51.45	52.63
	L.P. (%)	44.44	43.23	17.79	30.54	42.48	42.95
	I.P. (%)	16.06	12.86	2.96	7.06	8.97	9.68
%Hn		69.90	67.46	10.90	38.17	52.53	50.75
CLAS.	S.U.C.S	MH	MH	GM	ML	MH	MH
	AASHTO	A-7-5 (14)	A-7-5 (12)	A-1-b (0)	A-4 (8)	A-5 (10)	A-5 (11)
P.M.	M.D.S (gr/cc)		1.600		1.650		1.615
	O.C.H. (%)		21.30		19.00		20.50
CBR	95 % M.D.S.		3.90		8.00		5.20
	100% M.D.S.		4.10		9.80		4.30
CONDICION			Insuficiente		Insuficiente		Regular

Fuente:



## VI. CONCLUSIÓN

- ❖ Luego de realizar la evaluación para la caracterización geotécnica, podemos determinar que las características del suelo de terreno de fundación no son favorables, ya que encontramos limos (MH) de baja a alta plasticidad, y que su capacidad de soporte CBR al 95% de MDS presenta un promedio de 5.2%, la cual corresponde a la categoría de subrasante insuficientes (S1,  $CBR \geq 3\%$  a  $CBR < 6\%$ ), con una expansión altamente expansivo superior al 100% y que el nivel freático se encuentra a 1.30m a 2.50m., dando a entender que se requiere el reemplazamiento y mejoramiento del suelo existente mediante el estudio y evaluación de canteras, para así garantizar la estabilidad y un adecuado comportamiento del terreno de fundación. Para mejorar el terreno de fundación de la zona se necesita una cantera de roca que cumpla con las especificaciones técnicas para realizar el relleno de pedraplén con materiales pétreos debidamente aprobados, seguidamente se necesitan la evaluación de canteras para la conformación de la base y sub base que cumplan con especificaciones.
- ❖ Con los ensayos realizados en laboratorio de suelo, se pudo determinar las propiedades físicas del terreno de fundación; determinando que un 67% del área de estudio están conformados por materiales de limos de alta plasticidad (MH), y que el 33% encontramos una mezcla de gravas limosas (GM), gravas limosas con arcillas (GM-GC), arenas limosas con arcillas (SM-SC) y limo de baja plasticidad (ML); con un contenido de humedad que varía entre 10.9% y 70.32% y con un índice de plasticidad en estratos inferiores de 2.92% a 16.06%, según la clasificación SUCS. Así mismo, se pudo determinar las propiedades mecánicas, llegando a identificar suelos con diferentes comportamientos según el ensayo de CBR al 95% de MDS, donde su capacidad de soporte de las calicatas 04 y 10 es de 7.80% a 8% con una expansión de 50.35% a 51.53%, categorizándolo como un subrasante REGULAR; por otro lado, en las calicatas 05, 06, 08 y 12 es de 3.60% a 4.30% con una expansión de 146.05% a 161.66%, categorizándolo como un subrasante INADECUADO, de tal manera es considerando un material inadecuado.



- ❖ De acuerdo a la descripción visual y ensayos en laboratorio, se elaboró los perfiles estratigráficos según al tipo de suelo encontrados en el terreno de fundación, logrando realizar 12 calicatas a lo largo del tramo con profundidades variables entre 1.40m a 3.60m, determinado que la profundidad del nivel freático se ubica a un 1.30m a 2.50m y la existencia de dos a tres estratos y rellenos. En laboratorio según los resultados, en estratos superiores, encontramos mezclas de material de gravas limosas con arcillas (GM-GC), gravas limosas (GM) y limos inorgánicos de media plasticidad (ML), sin embargo, en la calicata 03 y 07 encontramos arenas limosas con arcillas (SM-SC); además, en los estratos inferiores a lo largo del proyecto de investigación encontramos limos inorgánicos de alta plasticidad (MH) y limos de baja plasticidad (ML), llegando a la conclusión que los materiales de los estratos superior son gravas, arenas y rellenos resientes, mientras que los suelos finos son materiales de terreno natural.
- ❖ Se realizó la evaluación de canteras para el mejoramiento del terreno de fundación, para de esta manera proponer canteras para el uso durante la construcción de la vía, llegándose a evaluar para el relleno pétreo la cantera San Luis de Alva, cantera que se caracteriza por presentar roca volcánica cumplen con las especificaciones exigidas en el desgaste de abrasión con un 27.13%; así mismo se evaluó la cantera Jayllihuaya y la cantera Cutimbo con el fin de uso para la conformación de la sub base y base granular, dándonos como resultado que la cantera Jayllihuaya nos ayuda como material ligante ya que es una grava arcillosa con un índice de plasticidad de 8.58%, mientras que la cantera Cutimbo es una cantera de grava de rio donde no tiene plasticidad; y con los resultados de sus granulometrías, se hace una mezcla de canteras donde el porcentaje de uso de la cantera Jayllihuaya es 60% y cantera Cutimbo de 40%, en el cual, esta mezcla cumplirá la especificación de la gradación A exigida por el manual de carreteras con el fin de garantizar la conformación de la sub base y base granular durante la construcción de la vía Costanera Sur.



## VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar ensayos de consolidación para determinar la respuesta del suelo saturado frente a la aplicación de carga, obteniendo datos sobre su comportamiento y capacidad de soporte de asentamiento.
- ❖ Realizar ensayos de permeabilidad para determinar su capacidad de drenaje del suelo.
- ❖ Realizar ensayos de penetración estándar SPT para determinar los bulbos de presiones.
- ❖ Diseñar tratamientos geotécnicos adecuados para el mejoramiento del terreno de fundación.
- ❖ Para el mejoramiento del terreno de fundación y diseño geométrico del pedraplén se recomienda tener en cuenta el nivel freático para evitar problemas en la conformación de la sub base y base granular.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrojo Tejeda, A. E. (2021). *Evaluación de la influencia del CBR en el terreno de fundación vial limo arcilloso para determinar espesores de mejoramiento mediante Modelos elásticos y la metodología AASHTO 1993* [Tesis pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Lima,
- Augusto José, L. (s.f.). *Formación de los suelos*. Universidad Nacional de Rosario. Argentina,
- Badillo Juarez, E. (2005). *Mecánica de Suelos - Fundamentos de la Mecánica de suelos*. México: Limusa.
- Calla Fernandez, J. F. (2012). *Geotécnica I*. Puno.
- Chirinos Ñañez, E., Rodríguez Lafitte, E., & Socrates, M. P. (2021). Métodos de estabilización de suelos arcillosos para mejorar el CBR con fines de pavimentación. *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*.
- Coelho, F. (2020, 26, 10). *Metodología de la investigación*. Significados.
- Condori Choquehuanca, P. (2012). *Evaluación Geotécnica del Terreno de Fundación de las Cimentaciones Superficiales en las Construcciones de la Av. Costanera I Y II Etapa –Puno* [Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Puno.
- Consumollo, V. (s.f.). *Clasificación AASHTO*. Academia.edu
- Cortés Urueña, P. A., & Gutiérrez Mora, O. A. (2018). *Evaluación Geotécnica del Suelo de 1Km de Vía no Pavimentada, Exponiendo el Comportamiento Físico y Mecánico del mismo en el Municipio de Melgar – Tolima* [Grado de Tesis. Universidad Piloto de Colombia - Seccional Alto Magdalena]. Colombia.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (5ta ed.). México: Limusa.
- Espino, M., Alburqueque, E., Segura, M., & Chura, R. (2017). Nivel hídrico y precipitaciones del lago Titicaca en relación con las variables de macroescala del Océano Pacífico. *Universidad Ricardo Palma*, 40.
- Fidalgo Castro, A. (2017). *Investigaciones del subsuelo*.



- INGEMMET (2020). *Geología de los cuadrángulos de Puno (hojas 32v1, 32v2, 32v3, 32v4) y Ácora (hojas 32x1, 32x2, 32x3 y 32x4)*. Lima.
- Geoxnet. (2019, 04, 08). *Clasificación de suelos*. Obtenido de Geología.
- Gomez. S. (2012). *Metodología de investigación* (1ra ed.). Mexico: Red Tercer Milenio S.C.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Gonzales Aliaga, R. & López Ramírez, A. (2015). *Informe final del área de Geología Región Puno*. Puno.
- Guzman, M. D. (s.f.). *Informe laboratorio mecánica de suelos* [Universidad Cesar Vallejo]. Lima.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). Mexico: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A.
- Laura Huanca, S. (2016). *Evaluación de la Capacidad Predictiva de los Méodos de Estimación del Comportamiento Mecánico de los Suelos Lacustres de la Bahía de Puno, para Cimentaciones Superficiales* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano - Puno]. Puno.
- Lima Choquehuayta, N. A., & Huayta Mamani, O. C. (2015). *Evaluación de Asentamiento y Daños Estructurales en Viviendas de la Urbanización San Valentín de la Ciudad de Puno* [Tesis pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Juliaca.
- MTC - Perú (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. MTC.
- MTC - Perú. (2014). *Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección Suelos y Pavimentos. R.D. N°10 - 2014 - MTC/14*. Lima, Perú, MTC.
- MTC - Perú. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. 1269.
- M. Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (7ma ed.). México: Cengage Learning Editores S.A.



- M. Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta ed.). México: Cengage Learning Editores S.A.
- Maldonado, Y. (2020, 11, 08). *Origen y formación de los suelos*. INGENIERÍA GEOLÓGICA.
- Mamani Romani, G. O., & Ramos Vilca, R. C. (2019). *Estudio Geotécnico de la Subrasante para Diseño de Pavimentos Flexibles en las Vías de Alto Tacna, Distrito Alto en la Alianza, Tacna – 2019* [Tesis pregrado, Universidad Privada De Tacna]. Tacna.
- Marco Espino, E. A. (2017). Nivel hídrico y precipitaciones del lago Titicaca en relación con las variables de macroescala del Océano Pacífico. *Universidad Ricardo Palma*, 38.
- Martínez Fajardo, A. P. (2019). *Diseño de Pavimento Rígido de la Calle 7 entre Carrera 7 y 5 del Municipio de Puerto Lopez Meta*. [Tesis pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. Bogotá.
- Mejía, E. (2005). *Metodología de la investigación científica* (1ra ed.). Universidad Nacional de San Marcos. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; MVCS. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones 2020. CE.010 Pavimentos urbanos*. Perú.
- Paquita Merma, E. N. (2015). *Evaluación Geológica y Geotécnica de la Carretera del Circuito Turístico Lago Sagrado De Los Incas, Tramo Km. 00+000 al Km. 10+000 Ccota-Charcas-Puno* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano - Puno]. Puno
- Paucar Curo, E. F. (2019). *Evaluación de pavimentos flexibles y rígidos aplicando las metodologías de inspección visual de zonas y rutas en riesgo e índice de condición del pavimento para el mantenimiento vial, caso de la Av. Floral y Jr. Carabaya, Puno* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano - Puno]. Puno
- Pérez Aguirre, V. R. (2020). *Caracterización Geológico - Geotécnico para el Trazo del Camino Vecinal Salamanca Huaytapampa en la Provincia de Condesuyos – Arequipa* [Tesis pregrado, Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa]. Arequipa.



- Puno, P. (2002). *www.congreso.gob.pe*. MALECÓN: PROYECTO ECOTURISTICO DE PUNO.
- Romel Gallardo, A. (2015). *Identificación y Clasificación de Suelos*. Dokumen
- Sanca, M. (2011). *Tipo de investigacion científica*. Revista de actualización clínica Investiga V.12. ISSN 2304-3768.
- SENAMHI. (2021). *Datos Hidrometeorológicos*. Perú
- Spark, W. (2022). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Puno*.
- Surco Apaza, H. (2021). *Evaluación Geologica, Geotecnica, Para el uso de Cemento Portland en el Mejoramiento y Conservación del Corredor Vial Putina – Dv. Ananea Tramo Iii, Km 97+000 al Km 104+000* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano - Puno]. Puno.
- Ticlla Ríos, T. N. (2021). *Evaluación de las Características Geotécnicas del Suelo de las Principales Canteras para Afirmado de Carreteras del Distrito de Chota* [Título De Grado, Universidad Nacional Autónoma De Chota]. Chota.
- UNI-CISMID. (2000). *Estudio Geotécnico del proyecto Malecón Turístico de Puno - I Etapa*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Universidad Nacional de Ingeniería (1975). *Manual de Laboratorio*. Lima.
- Valencia Muñoz, M. M., & Rosell Solís, W. (2003). *Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Puno (32-v), Escala 1:50 000*. INGEMMET.



## ANEXOS

### **Anexo I**

Panel fotográfico

### **Anexo II**

Ensayos de laboratorio

- ❖ Anexo II – A: Certificados de contenido de humedad
- ❖ Anexo II – B: Certificados de análisis granulométricos
- ❖ Anexo II – C: Certificados de límites de consistencia
- ❖ Anexo II – D: Certificado de Proctor Modificado
- ❖ Anexo II – E: Certificados de Relación de Soporte de California (CBR)

### **Anexo III**

Perfil estratigráfico

### **Anexo IV**

Certificados de canteras

### **Anexo V**

Mapas

- ❖ Mapa de ubicación
- ❖ Mapa Geológico Local
- ❖ Mapa Geomorfológico
- ❖ Mapa Geotécnico